



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## УЧЕБНО ПОМАГАЛО

ПО

### ХЛАДИЛНИ И ТЕРМОПОМПЕНИ СИСТЕМИ

за специалност код 5410401 „Експлоатация и поддържане на хладилна и климатична техника в хранително-вкусовата промишленост“

професия код 541040 „Техник-технолог по експлоатация и поддържане на хладилна и климатична техника в хранително-вкусовата промишленост“

РАЗРАБОТЕНО ОТ АВТОРСКИ ЕКИП КЪМ ПРОФЕСИОНАЛНА ГИМНАЗИЯ ПО  
ХРАНИТЕЛНИ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКА, ГР. ПЛОВДИВ

Авторски екип:

инж. Ованес Арзрун Харутюнян

инж. Васил Иванов Грозданов

инж. Светослав Руменов Влашки

инж. Николай Иванов Чалъков

инж. Мария Руменова Попова

Редактор: Елеонора Иванова Ковачева

Одобрено от инж. Николай Иванов Чалъков

Учебното помагало е разработено в рамките на проект BG05M2OP001-2.014-0001 „Подкрепа за дуалната система на обучение“, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“, съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейските структурни и инвестиционни фондове

1

----- [www.eufunds.bg](http://www.eufunds.bg) -----

*Проект BG05M2OP001-2.014-0001 „Подкрепа за дуалната система на обучение“, финансиран от Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“, съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейските структурни и инвестиционни фондове.*



## Съдържание

<b>1. Ig(p)-h ДИАГРАМА</b> .....	<b>2</b>
1.1 Дефиниция за хладилен агент .....	3
1.2 Координатни оси .....	3
1.3 Гранични криви .....	5
1.4 Области на диаграмата .....	7
1.5 Линии на постоянна температура (изотерми).....	8
1.6 Линии на постоянна специфична ентропия (изоентропи) .....	9
1.7 Линии на постоянен специфичен обем (изохори) .....	10
<b>2. ХЛАДИЛЕН ЦИКЪЛ</b> .....	<b>15</b>
2.1 Елементи на парокompресорната хладилна система .....	15
2.2 Термодинамични процеси в хладилния цикъл .....	18
2.3 Параметри на хладилния цикъл .....	20
2.4 Термодинамични процеси в надкритичния хладилен цикъл .....	24
<b>3. КЛАСИФИКАЦИЯ НА ХЛАДИЛНИТЕ АГЕНТИ</b> .....	<b>29</b>
3.1 Класификация на хладилните агенти .....	29
3.2 Номенклатура .....	35
3.2.1 Халогенирани въглеводороди (производни на алканите).....	35
3.2.2 Смеси .....	38
3.2.3 Наситени въглеводороди .....	39
3.2.4 Ненаситени въглеводороди .....	40
3.2.5 Хидрофлуороолефини .....	41
3.2.6 Неорганични съединения.....	42
<b>4. ОСНОВНИ ТЕРМОДИНАМИЧНИ И ПРЕНОСНИ СВОЙСТВА НА ХЛАДИЛНИТЕ АГЕНТИ</b> .....	<b>45</b>
4.1 Термодинамични свойства .....	47
4.2 Преносни свойства .....	53
4.3 Изисквания към хладилните агенти .....	54
<b>5. ОГРАНИЧЕНИЯ И ЗАБРАНИ ВЪРХУ УПОТРЕБАТА НА ХЛАДИЛНИТЕ АГЕНТИ</b> .....	<b>57</b>
<b>6. БЕЗОПАСНОСТ</b> .....	<b>61</b>
6.1 Класификация по безопасност .....	61
6.2 Запалимост .....	63
6.3 Задушаване/токсичност.....	66



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

6.4	Високи налягания .....	67
6.5	Оценка на риска .....	68
<b>7.</b>	<b>КОНВЕНЦИОНАЛНИ ХЛАДИЛНИ АГЕНТИ .....</b>	<b>71</b>
7.1	R134a .....	71
7.2	R404A .....	73
7.3	R407C .....	73
7.4	R410A .....	73
<b>8.</b>	<b>АЛТЕРНАТИВНИ СИНТЕТИЧНИ ХЛАДИЛНИ АГЕНТИ .....</b>	<b>76</b>
8.1	Синтетични алтернативи на R134a .....	76
8.2	Синтетични алтернативи на R404A .....	79
8.3	Синтетични алтернативи на R410A .....	80
<b>9.</b>	<b>ЕСТЕСТВЕНИ ХЛАДИЛНИ АГЕНТИ .....</b>	<b>85</b>
9.1	R290 (пропан).....	87
9.2	R600a (изобутан).....	88
9.3	R744 (въглероден диоксид).....	89
9.4	R717 (амоняк) .....	92
<b>10.</b>	<b>ИЗМЕРВАНЕ И АНАЛИЗ НА РАБОТНИТЕ ПАРАМЕТРИ .....</b>	<b>96</b>
10.1	Ключови работни параметри .....	96
10.2	Работен лист .....	97
10.3	Основни правила при измерване на работните параметри .....	98
10.4	Недостатъчно количество хладилен агент.....	102
10.5	Презареждане с хладилен агент.....	103
10.6	Замърсена топлообменна повърхност на кондензатора .....	104
10.7	Наличие на некондензиращи газове.....	105
10.8	Запушен регулиращ вентил.....	106
<b>11.</b>	<b>ПОДГОТОВКА ЗА СПОЯВАНЕ НА МЕДНИ ТРЪБИ.....</b>	<b>109</b>
<b>12.</b>	<b>СПОЯВАНЕ С МЕК ПРИПОЙ.....</b>	<b>115</b>
<b>13.</b>	<b>СПОЯВАНЕ С ТВЪРД ПРИПОЙ .....</b>	<b>124</b>
<b>14.</b>	<b>СВЪРЗВАНЕ НА МЕДНИ ТРЪБИ С РАЗГЛОБЯЕМИ ВРЪЗКИ НИПЕЛ-ГАЙКА.....</b>	<b>130</b>
<b>15.</b>	<b>ВАКУУМИРАНЕ НА ХЛАДИЛНИ И ТЕРМОПОМПЕНИ СИСТЕМИ .....</b>	<b>136</b>
<b>16.</b>	<b>ПРОБА НА ЯКОСТ ПОД НАЛЯГАНЕ.....</b>	<b>143</b>
<b>17.</b>	<b>ПРОБА НА ПЛЪТНОСТ ПОД НАЛЯГАНЕ .....</b>	<b>152</b>
<b>18.</b>	<b>ПРОБА НА ПЛЪТНОСТ ПОД ВАКУУМ .....</b>	<b>158</b>

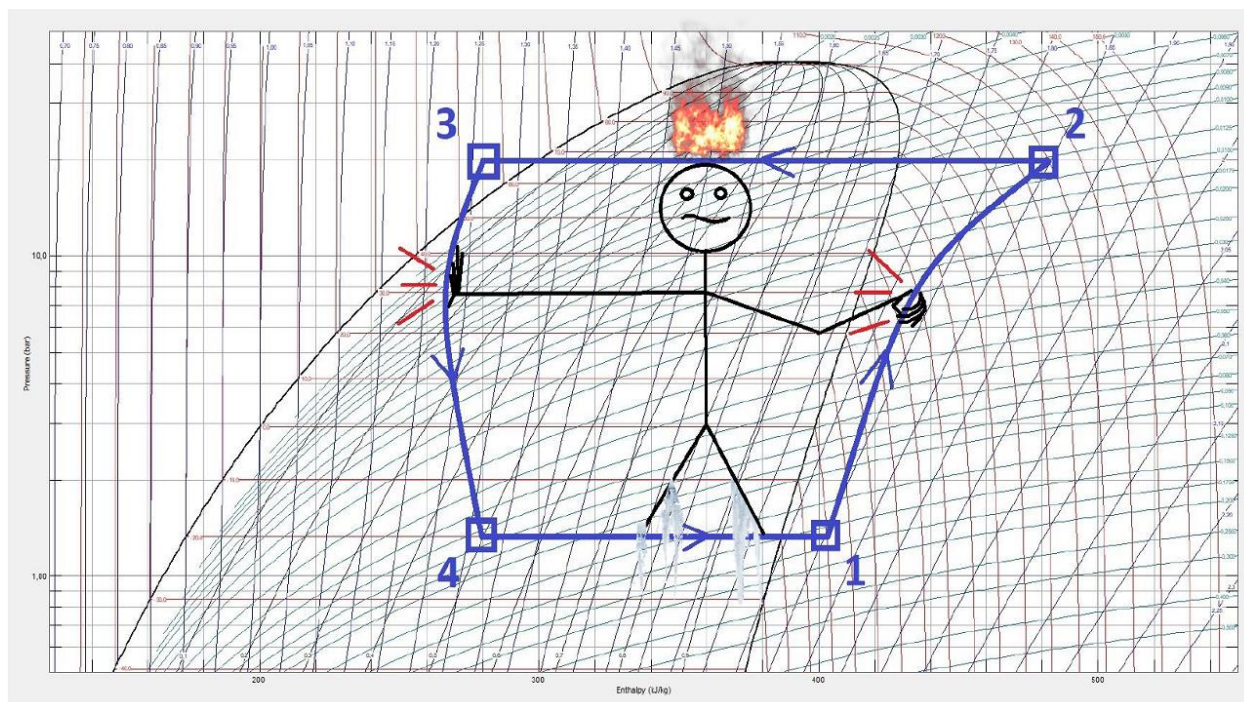


ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

19.	ЗАРЕЖДАНЕ НА ХЛАДИЛЕН АГЕНТ В ПАРНА ФАЗА.....	164
20.	ЗАРЕЖДАНЕ НА ХЛАДИЛЕН АГЕНТ В ТЕЧНА ФАЗА, БЕЗ СУХ КОМПРЕСОР .....	172
21.	ЗАРЕЖДАНЕ НА ХЛАДИЛЕН АГЕНТ В ТЕЧНА ФАЗА СЪС СУХ КОМПРЕСОР.....	181
22.	ЕЛЕКТРИЧЕСКА ДИАГНОСТИКА НА ХЛАДИЛНИТЕ СИСТЕМИ .....	190



Работата на хладилния специалист е изключително важна, интересна, но поставя и множество предизвикателства.

Краката му замръзват и главата му гори, докато той се опитва да оптимизира параметрите на хладилната система.

Настоящото учебно помагало ще ни помогне да научим всичко необходимо, за да разберем какви са предизвикателствата пред нашия колега от изображението по-горе и за да започнем собственото си развитие като хладилни специалисти.



## 1. LG(P)-Н ДИАГРАМА

### В този урок ще научим:

- Какво е lg(p)-h диаграма и за какво се използва.
- Какво е хладилен агент.
- Кои величини участват в lg(p)-h диаграмата и какво означават.
- Кои са графичните елементи на lg(p)-h диаграмата.

lg(p)-h диаграмата изобразява **фазите** на дадено вещество и стойностите на някои основни термодинамични параметри.

В хладилната техника веществата, обект на разглеждане са **хладилните агенти**. Диаграмата служи като ценен инструмент за графично представяне на процесите, съставлящи хладилния цикъл, както и за количествена оценка на параметрите на цикъла. Всяко вещество и съответно всеки хладилен агент има свои характерни термодинамични свойства и следователно своя собствена lg(p)-h диаграма.

Тъй като точността на графичния метод е ограничена от размерите на диаграмата и количеството информация, която съдържа, чрез диаграмата могат да бъдат правени само приблизителни изчисления. За точни изчисления трябва да се използват таблични данни или специализирани софтуерни програми.



Фаза се нарича хомогенна (с еднородни химични и физични свойства) част от хетерогенна система, разделена от другите хомогенни части на системата чрез гранична повърхност.

Например в система, състояща се от лед, вода и водни пари в термодинамично равновесие, има три фази: твърда (лед), течна (вода) и парна фаза (водни пари).



## 1.1 Дефиниция за хладилен агент

Хладилният агент е работният флуид, чрез който се осъществява преносът на топлина в хладилната система. Топлината се отнема при ниска температура и налягане и се отдава при висока температура и налягане, като обикновено двата процеса включват промяна в агрегатното състояние – изпарение и кондензация.

Хладилните агенти са газове, за които е характерно, че при стандартно атмосферно налягане кипят при ниска температура – под  $0^{\circ}\text{C}$  и при дроселиране температурата им се понижава.

Свойствата на хладилния агент са важни, защото са определящи за работния диапазон, енергийната ефективност, безопасността и екологическото въздействие на всяка хладилна система.



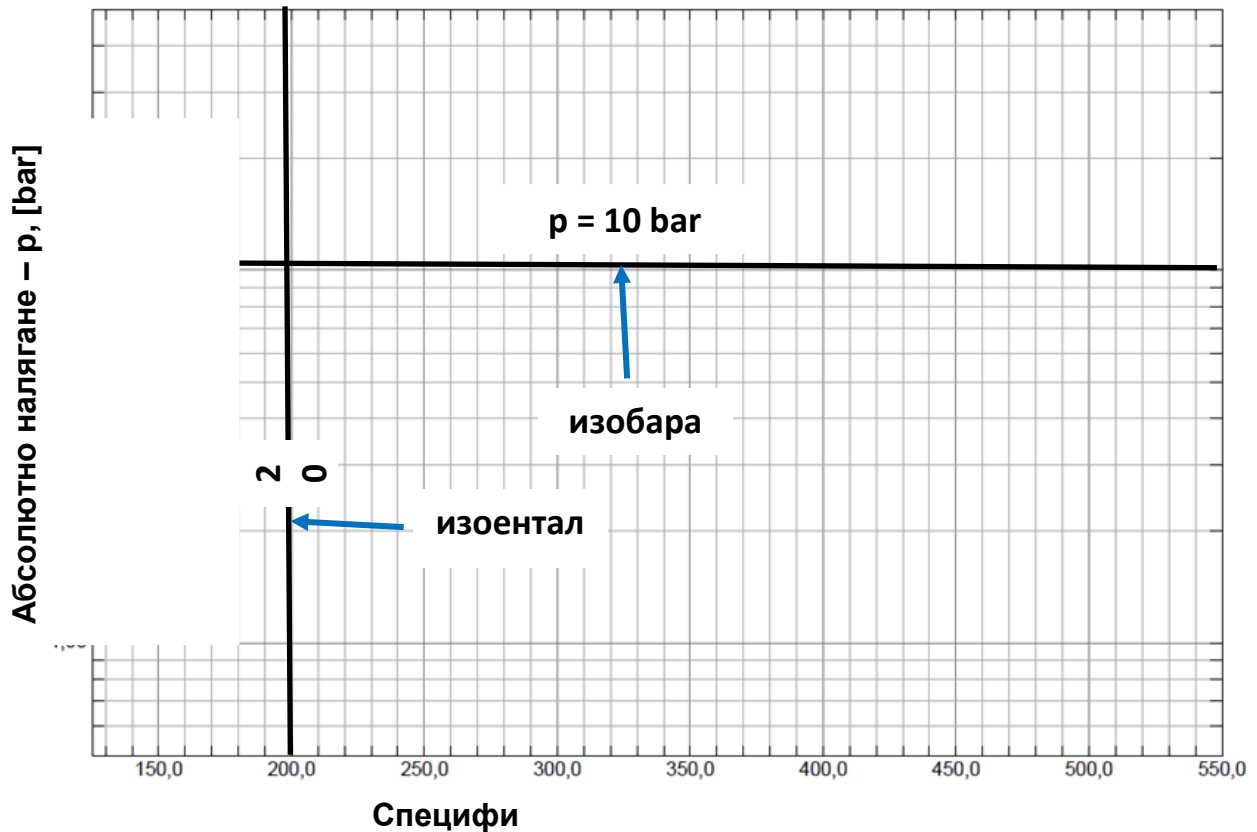
Стандартното атмосферно налягане е 101,325 kPa (килопаскала) или 760 mmHg (милиметра живачен стълб).

## 1.2 Координатни оси

На Фигура 1.1 са показани координатните оси на  $\lg(p)$ -h диаграмата.

По абсцисната (хоризонталната ос) се променя **специфичната енталпия**. Във всички точки, лежащи върху вертикална линия от диаграмата, специфичната енталпия е постоянна (има една и съща стойност). Вертикалните линии в диаграмата се наричат изоенталпи – линии на постоянна специфична енталпия.

По ординатната (вертикалната) ос се променя **абсолютното налягане**. Налягането е изобразено в логаритмични координати. Стойностите са представени в три декади – от 0,1 до 1, от 1 до 10 и от 10 до 100. Причината да се използват логаритмични координати е, че по този начин двуфазната област е по-голяма, което позволява значително по-лесното изобразяване на процесите и отчитане на съответните стойности. Във всички точки, лежащи върху хоризонтална линия от диаграмата, налягането е постоянно. Хоризонталните линии се наричат изобари – линии на постоянно налягане.



Фигура 1.1 Координатни оси на  $\lg(p)$ - $h$  диаграмата



Специфичната енталпия е комплексна термодинамична величина, която представлява сума от вътрешната енергия (която може да се разглежда като топлина) и произведението от налягането и специфичния обем (което отчита работата при разширение и стъстяване). Специфична е енталпията, която се отнася към 1 kg маса от веществото. Мерната единица (дименсията) на специфичната енталпия е kJ/kg.

Специфичната енталпия не може да бъде измерена. Нейните стойности се дефинират условно – в повечето диаграми 200 kJ/kg при температура 0 °C. При извършване на изчисления се използва разликата между две стойности.



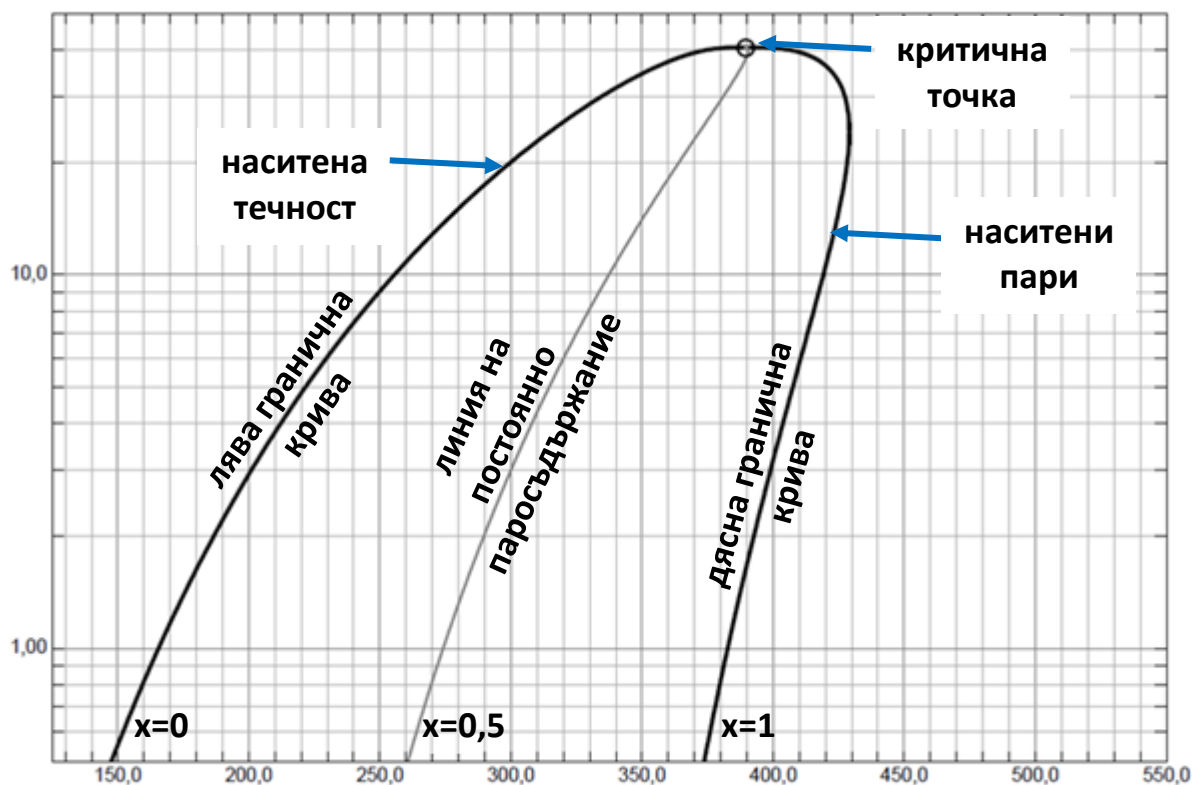
Абсолютното налягане е налягане, което се измерва спрямо абсолютния вакуум. Трябва да се обърне внимание, че дименсията на налягането в  $\lg(p)$ - $h$  диаграмата е bar и се различава от дименсията на налягане в SI система, която е Pa (паскал).  $1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ .





### 1.3 Гранични криви

На **Фигура 1.2** са показани лявата и дясната гранични криви, които се наричат така, тъй като отбелязват границите между области на диаграмата, в които хладилният агент е в различно агрегатно състояние.



Фигура 1.2 Гранични криви

Във всички точки, лежащи върху лявата гранична крива, хладилният агент е в състояние на **наситена течност**.



Наситена е течност с температура и налягане, при които всяко минимално загряване води започване на процес на фазов преход – кипене.

Във всички точки, лежащи върху дясната гранична крива, хладилният агент е в състояние на **наситени пари**.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ



Наситени са пари с температура и налягане, при които всяко минимално охлаждане води до започването на процес на фазов преход – кондензация.

Температурата и налягането, при които започва или приключва процесът на фазов преход (изпарение или кондензация), се наричат **температура и налягане на насищане**. Температурата и налягането на насищане са взаимно зависими – на дадена температура на насищане съответства точно определена стойност на налягането.

Между двете гранични криви хладилният агент е в състояние на смес от течност и пари – двуфазна смес (още паро-течна смес). Какво е съотношението на течната и парната фаза, се определя от **паросъдържанието** –  $x$ .



Паросъдържание е отношението на масата на парите към общата маса на сместа.

Линиите на постоянно паросъдържание са успоредни на лявата и дясната гранична крива. Стойностите на паросъдържанието се променят от 0 до 1. Паросъдържанието е 0 върху лявата и 1 върху дясната гранична крива.

В горния си край двете гранични криви се срещат в така наречената **критична точка**.



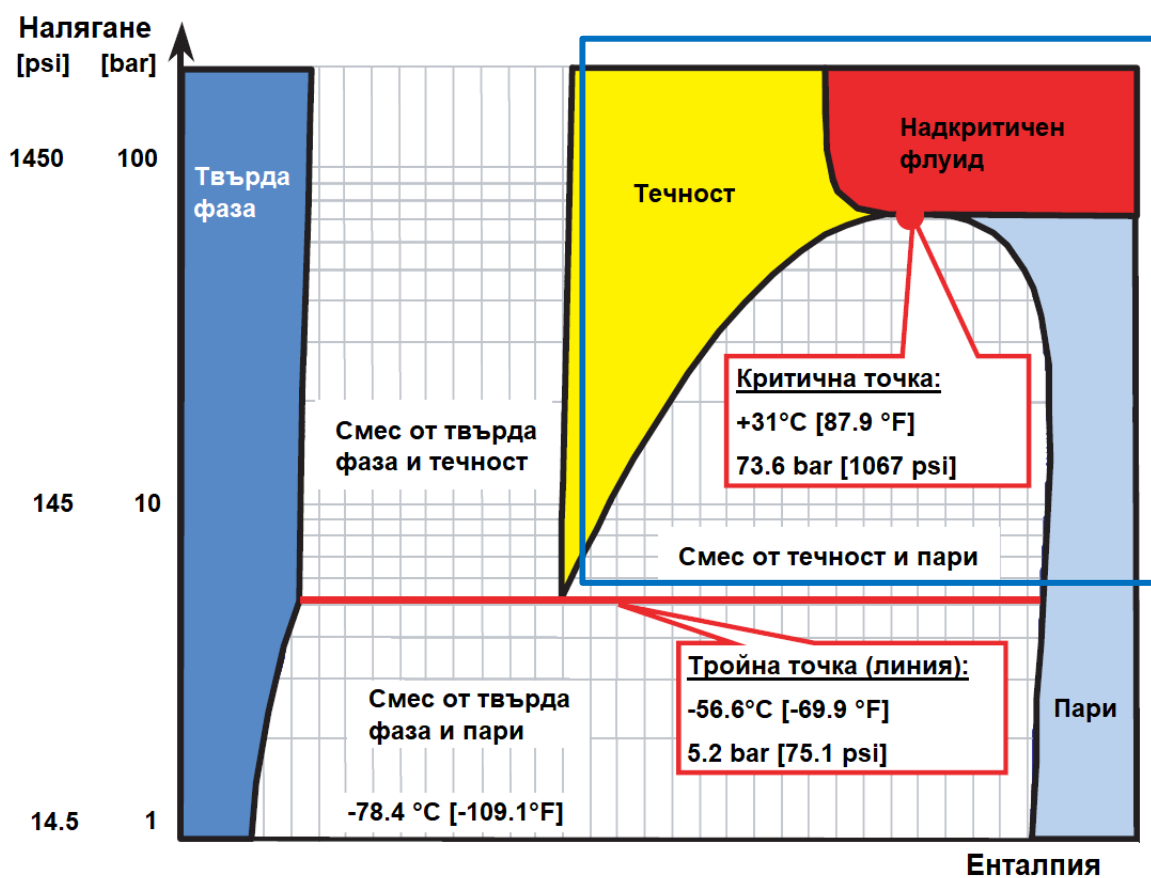
Критична точка е състоянието, при което плътностите на течната и парната фаза се изравняват и физическата граница между тях изчезва. Латентната топлина на фазов преход е нула.

При температура и налягане, по-високи от тези в критичната точка, хладилният агент не може да съществува в течно агрегатно състояние, тоест не са възможни процеси на фазов преход.



## 1.4 Области на диаграмата

На Фигура 1.3 е показана цялостна  $lg(p)$ - $h$  диаграма на въглеродния диоксид. Важно е да се знае, че цялостната  $lg(p)$ - $h$  диаграма включва твърдата фаза и равновесните състояния между твърда и течна, и твърда и парна фаза. Тъй като обаче процесите в хладилната система протичат в областта около линиите на наситена течност и наситени пари, в инженерно-техническата практика се използва само горната дясна част от диаграмата.



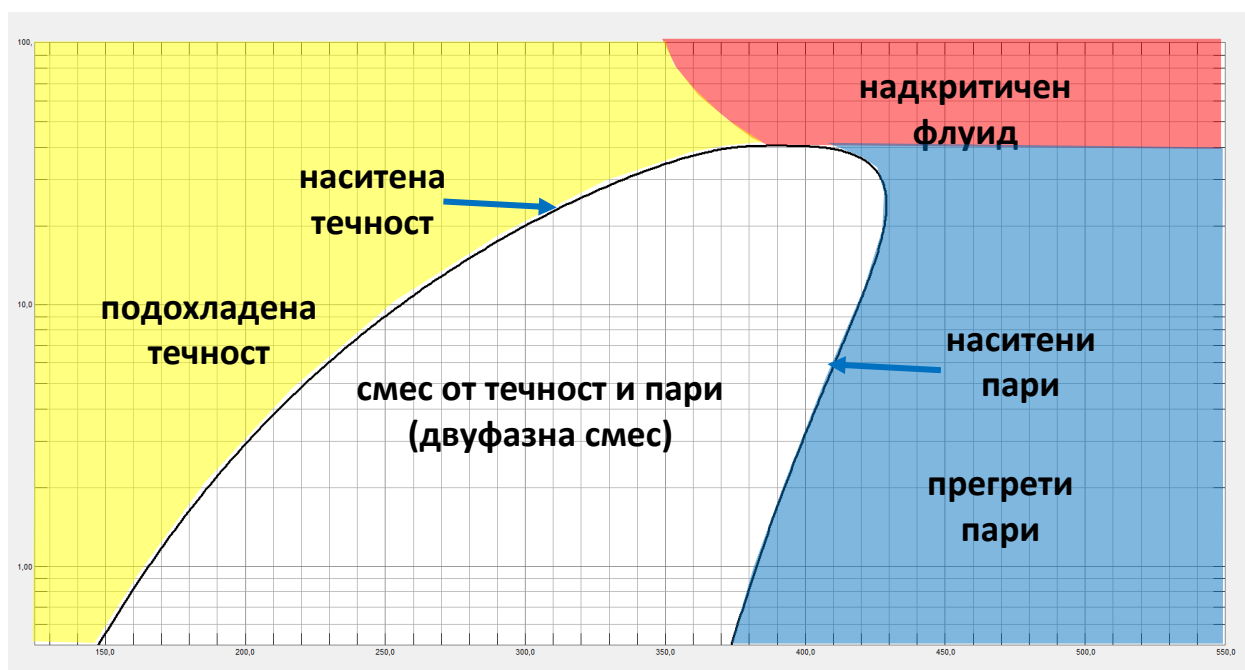
Фигура 1.3 Цялостна  $lg(p)$ - $h$  диаграма на въглеродния диоксид



В съответствие с фазата на хладилния агент,  $lg(p)$ - $h$  диаграмата се разделя на четири области (Фигура 1.4):

- **Подохладена течност** – течност, чиято температура е по-ниска от температурата на насищане при съответното налягане;
- **Прегрети пари** – пари, чиято температура е по-висока от температурата на насищане при съответното налягане;
- Смес от течност и пари (двуфазна смес);
- **Надкритичен флуид**.

Надкритичният флуид представлява газ с много висока плътност.



Фигура 1.4 Области на  $lg(p)$ - $h$  диаграмата

## 1.5 Линии на постоянна температура (изотерми)

На Фигура 1.5 в червен цвят е показана произволна линия на постоянна температура – **изотерма**. Трябва да се обърне внимание на характерния ход на изотермите.

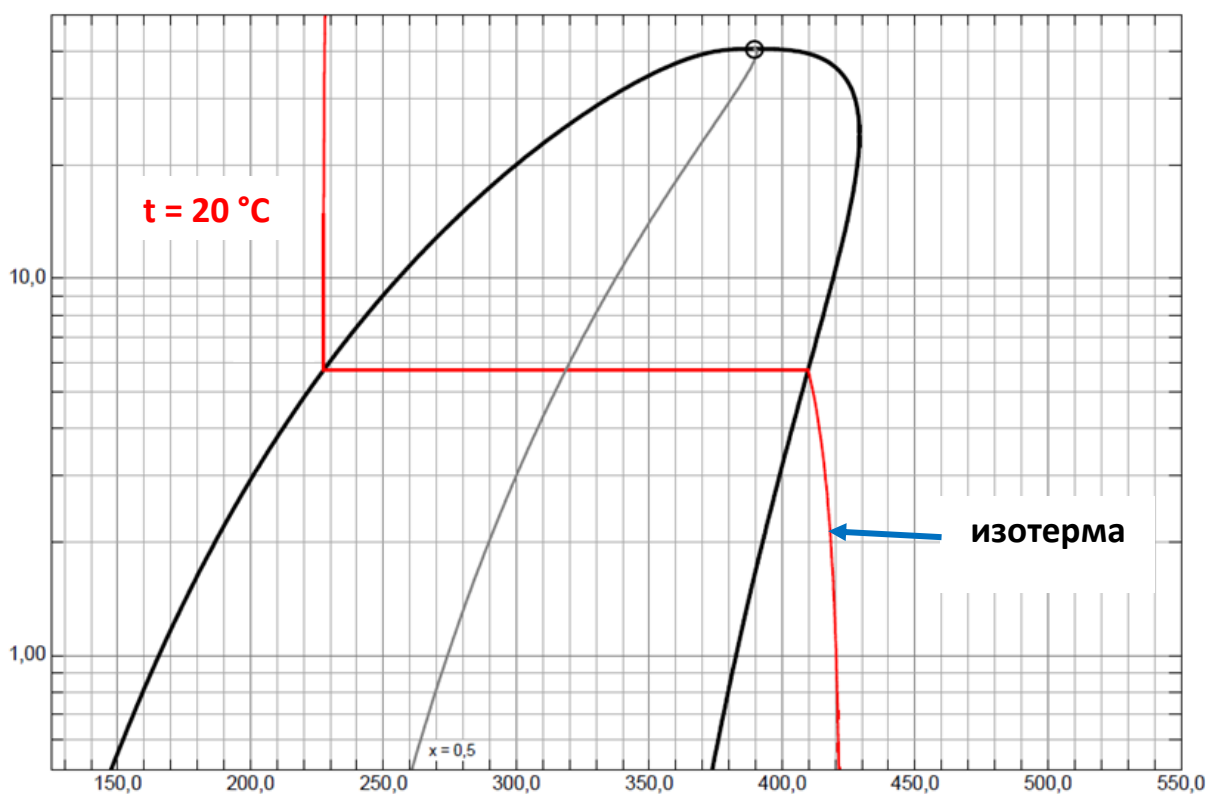
В областта на подохладената течност изотермите са почти вертикални линии, което показва, че при промяна на специфичната енталпия температурата



също се променя. Изотермите рязко променят направлението си върху лявата гранична крива.

В двуфазната област изотермите са успоредни на изобарите. Това се дължи на факта, че при изпарение и кондензация веществата отнемат или съответно отдават т.нар. скрита (латентна) топлина, без температурата да се променя. Отнетото или отдаденото количество топлина се определя чрез промяната на специфичната енталпия.

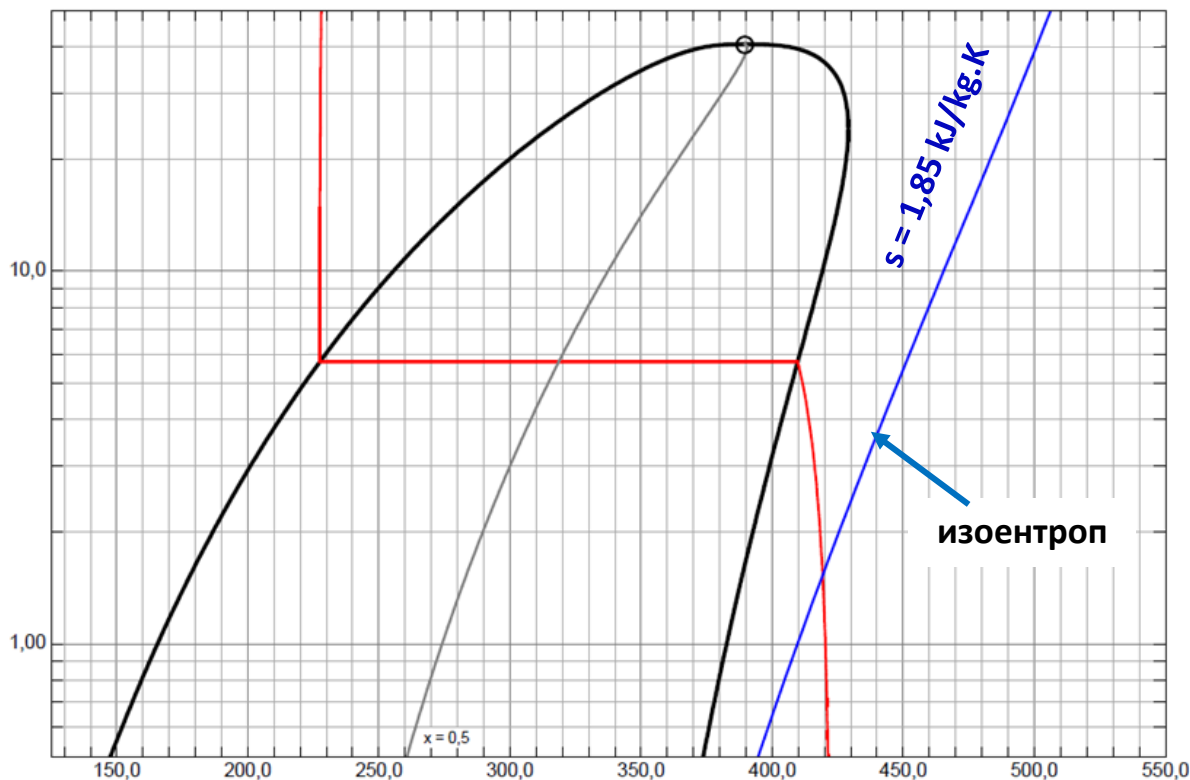
В областта на прегретите пари изотермите отново са почти вертикални линии, спускащи се рязко надолу от дясната гранична крива към абсцисната ос. При промяната на специфичната енталпия температурата също се променя.



Фигура 1.5 Линия на постоянна температура – изотерма

## 1.6 Линии на постоянна специфична ентропия (изоентропи)

На Фигура 1.6 в син цвят е показана произволна линия на постоянна специфична ентропия – **изоентропа**.



Фигура 1.6 Линия на постоянна специфична ентропия – изоентропа

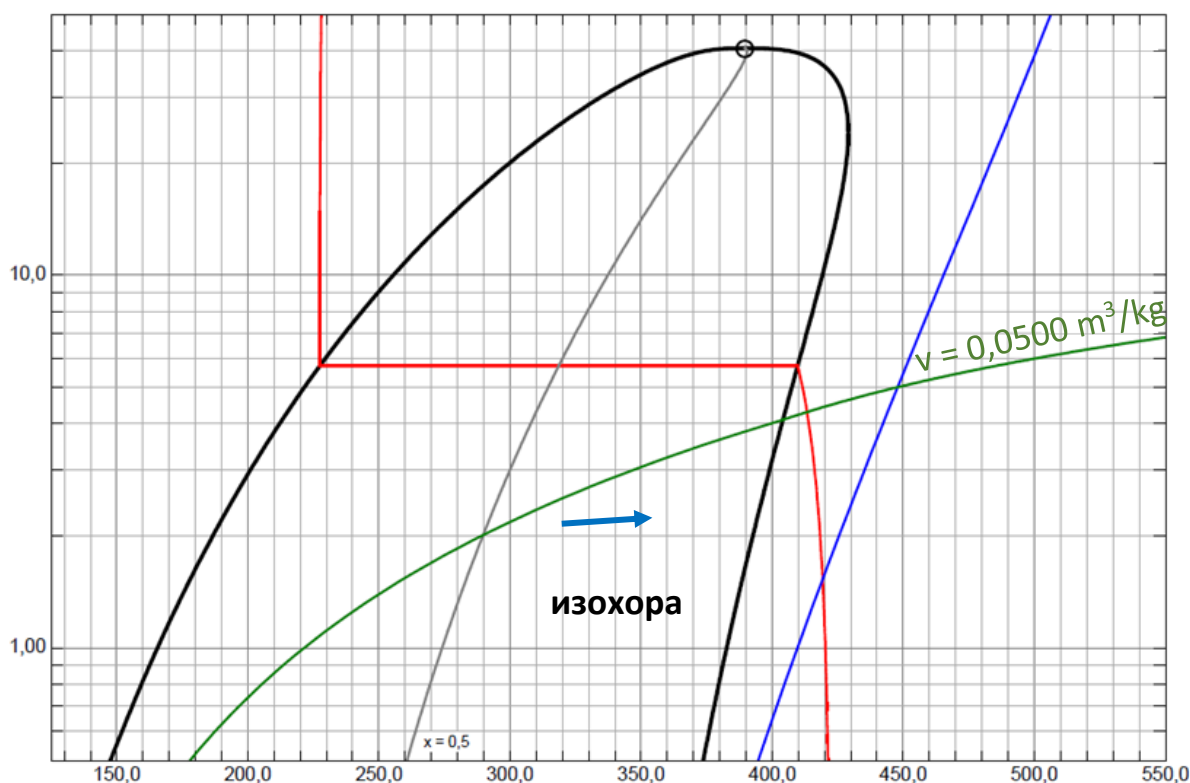


Специфичната ентропия е мярка за безпорядък в дадена термодинамична система. Нарастването на специфичната ентропия показва степента на необратимост на разглеждания термодинамичен процес (колко несъвършен е процесът). Дименсията на специфичната ентропия е  $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ .

В хладилната техника изменението на специфичната ентропия служи основно за оценка на термодинамичните загуби при процесите на съгъстяване и дроселиране на хладилния агент.

## 1.7 Линии на постоянен специфичен обем (изохори)

На Фигура 1.7 в зелен цвят е показана произволна линия на постоянен специфичен обем – **изохора**.



Фигура 1.7 Линия на постоянен специфичен обем – изохора



Специфичният обем  $v$  е реципрочен на плътността  $\rho$ . Показва какъв обем заема единица маса от дадено вещество. Дименсията на специфичния обем е  $\text{m}^3/\text{kg}$ .

В хладилната техника специфичният обем се използва основно за изчисляване на обемния дебит (при известен масов дебит) на хладилния агент. На база на обемния дебит се определят необходимият работен обем на компресора и диаметрите на тръбопроводите.

Фигура 1.8 показва  $\lg(p)$ - $h$  диаграма на хладилен агент R134a, съдържаща всички графични елементи.

За да се дефинира еднозначно състоянието на хладилния агент, е необходимо да са известни два независими параметъра, например температура и специфична енталпия. Трябва да се обърне внимание, че например в двуфазната област температурата и налягането са взаимно зависими. В този

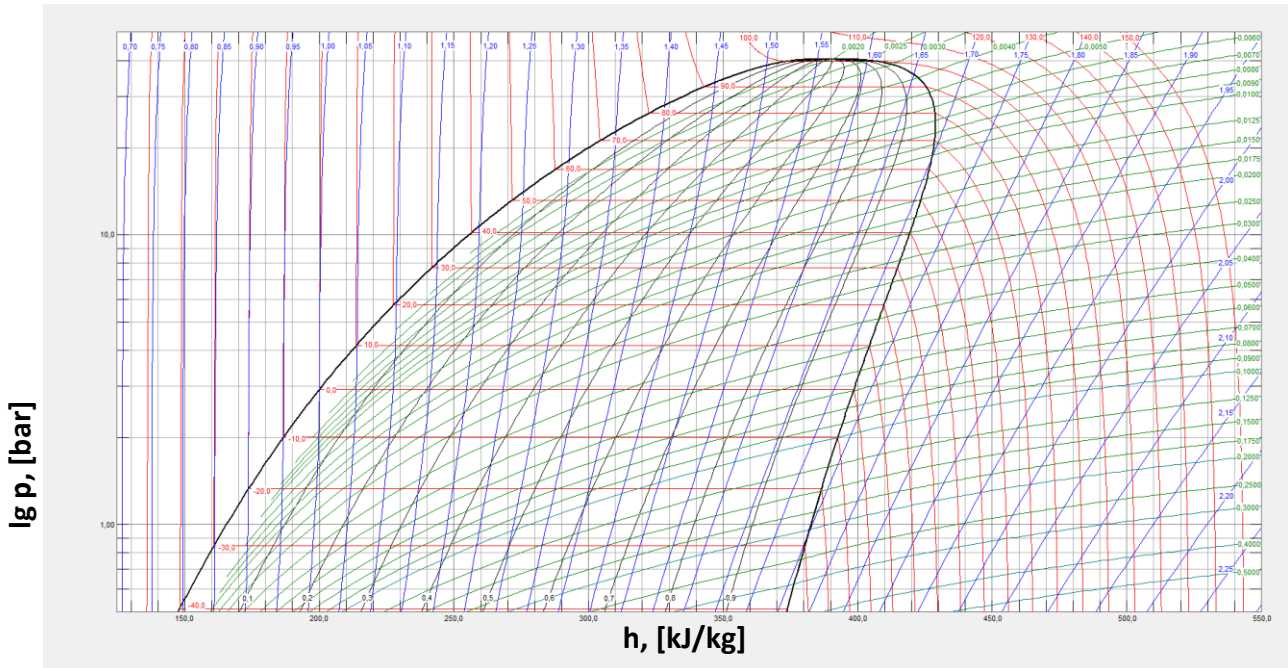


ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

случай, ако е известна например температурата на насищане, е необходима стойността на още един параметър, който не зависи от температурата – например специфичната енталпия или паросъдържанието.



Фигура 1.8 lg(p)-h диаграма на хладилен агент R134a





## Въпроси и задачи:

- 1) В какви фази се намира хладилен агент R134a в една нова бутилка? Температурата на хладилния агент в бутилката е равна на околната температура – 20 °C.
- 2) Къде в  $lg(p)$ - $h$  диаграмата се намират точките, съответстващи на състоянието на хладилния агент в бутилката от въпрос 1?
- 3) Определете температурата на насищане на хладилен агент R290 (пропан) при налягане 2, 9 bar.
- 4) Определете паросъдържанието на хладилен агент R134a при температура на насищане -10 °C и специфична енталпия 250 kJ/kg.
- 5) Сравнете латентната топлина на фазов преход на R134a и R717 при температура на насищане 0 °C.
- 6) Определете специфичната енталпия на R290 в състояние на наситена течност при налягане 15 bar.
- 7) В какво състояние ще се намира R717, ако от температура 40 °C и налягане 20 bar налягането му се понижи изоенталпийно до 3 bar?
- 8) В какво състояние се намира хладилен агент R290 при температура 0 °C налягане 3 bar? Ка специфичният обем на хладилния агент в това състояние?
- 9) Колко е латентната топлина на фазов преход на R744 (въглероден диоксид) при налягане 90 bar?
- 10) Определете специфичната енталпия на хладилен агент R134a в състояние на двуфазна смес при известни температура -10 °C и налягане 2 bar.



## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Определя правилно фазите, в които се намира хладилният агент.	ДА 6 НЕ 0		
2.	Определя правилно точките, съответстващи на състоянието на хладилния агент.	ДА 6 НЕ 0		
3.	Определя правилно температурата на насищане на хладилния агент при зададеното налягане.	ДА 6 НЕ 0		
4.	Определя правилно паросъдържанието на хладилния агент при зададените параметри.	ДА 6 НЕ 0		
5.	Сравнява правилно латентната топлина на фазов преход на R134a и R717.	ДА 6 НЕ 0		
6.	Определя правилно специфичната енталпия на R290 при зададените параметри.	ДА 6 НЕ 0		
7.	Определя правилно състоянието, в което ще се намира R717 при зададените параметри.	ДА 6 НЕ 0		
8.	Определя правилно състоянието и специфичния обем на R290 при зададените параметри.	ДА 6 НЕ 0		
9.	Определя правилно, че латентната топлина на фазов преход на R744 не е дефинирана при зададеното налягане.	ДА 6 НЕ 0		
10.	Определя правилно, че специфичната енталпия на хладилния агент R134a не може да се определи при зададените параметри.	ДА 6 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:		
Клас:	дата:	подпис:
Преподавател:		
Оценка:		подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение		Срок:



## 2. ХЛАДИЛЕН ЦИКЪЛ

### В този урок ще научим:

- Какво е предназначението на хладилната система.
- Кои са основните елементи на парокompресорната хладилна система.
- Кои са термодинамичните процеси в хладилния цикъл и как се изобразяват в  $\lg(p)$ - $h$  диаграмата.
- Какво е прегрев и подохлаждане.
- Кои са параметрите на хладилния цикъл.
- Какво е коефициент на преобразуване.
- Кои са термодинамичните процеси в транскритичен хладилен цикъл.

Предназначението на **хладилната система** е да отнема топлина от среда с ниска температура и да я отдава на среда с висока температура.

Средата (въздух, вода и т.н.), от която се отнема топлина, се нарича охлаждаема среда, а средата, на която се отдава топлина – охлаждаща среда.

Съгласно втория закон на термодинамиката, преносът на топлина от среда с ниска температура към среда с висока температура се осъществява чрез извършване на работа за сметка на външна за системата енергия (най-често електрическа).

### 2.1 Елементи на парокompресорната хладилна система

На Фигура 2.1 е представена принципна схема на парокompресорна хладилна система. Основните елементи на системата са четири:

- Изпарител;
- Компресор;
- Кондензатор;



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

- Дроселиращ орган.

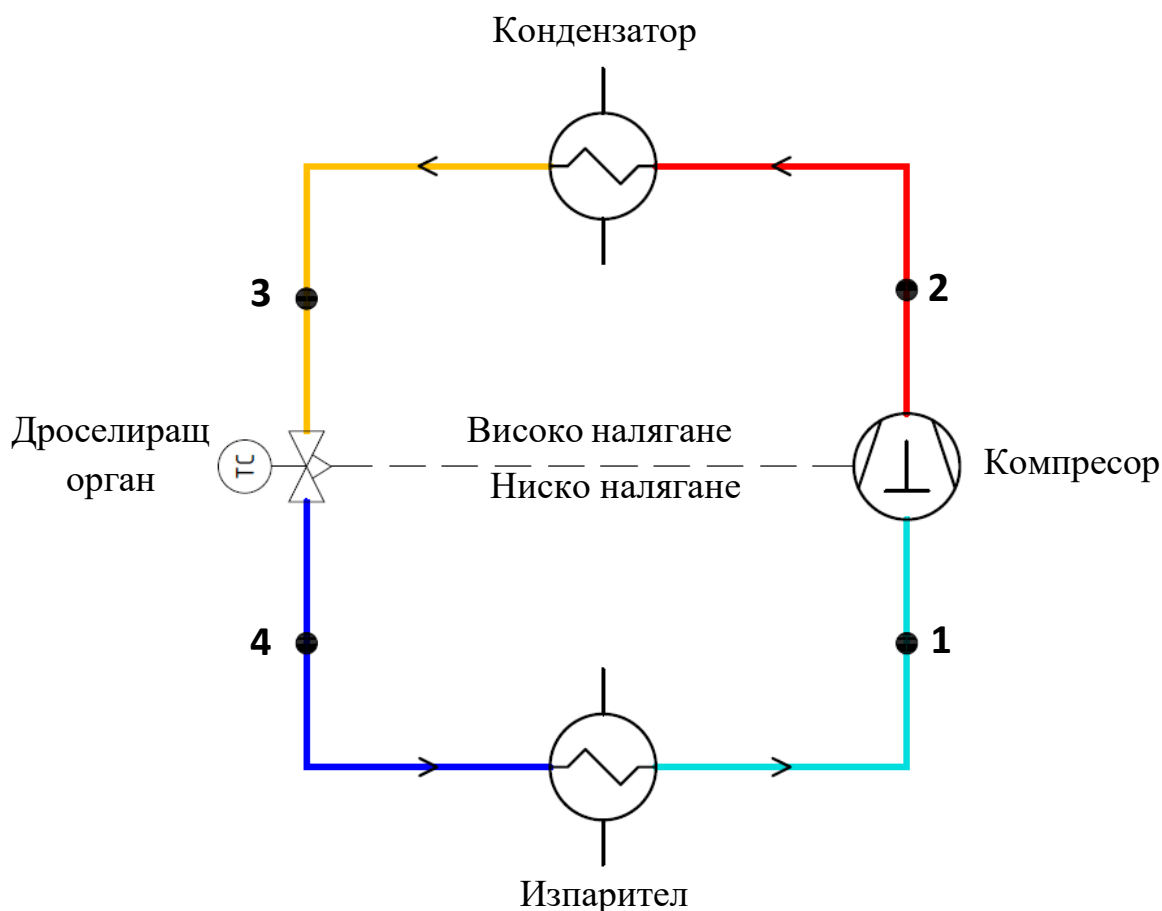


**Компресорът** е елементът, в който хладилният агент се съгъстява, като налягането и температурата му се повишават чрез извършване на работа за сметка на външна за системата енергия (най-често електрическа).

**Кондензаторът** е топлообменен апарат, в който хладилният агент отдава на охлаждащата среда отнетата в изпарителя топлина и топлината, получена при преобразуване на механичната работа в компресора, като се охлажда и претърпява процес на фазов преход – кондензация.

**Дроселиращият орган** е елементът, в който чрез триене налягането и температурата на хладилния агент се понижават.

**Изпарителят** е топлообменен апарат, в който хладилният агент отнема топлина от охлаждащата среда, като претърпява процес на фазов преход – кипене.



Фигура 2.1 Принципна схема на парокompресорна хладилна система



## 2.2 Термодинамични процеси в хладилния цикъл

На Фигура 2.2 е изобразен хладилен цикъл в  $\lg(p)$ - $h$  диаграма. Термодинамичните процеси, съставлящи хладилния цикъл, са следните:

**Процес 1 – 2:** в състояние на прегрети студени пари с налягане на изпарение и температура на засмукване хладилният агент постъпва в компресора, където налягането и температурата му се повишават изоентропно до налягане на кондензация и температура на нагнетяване.

Процесът в кондензатора от т. 2 до т. 3 се разделя на три подпроцеса:

**Процес 2 – 2':** в състояние на прегрети горещи пари с налягане на кондензация и температура на нагнетяване хладилният агент постъпва в кондензатора, където в първата част (приблизително 20 %) от топлообменната повърхност изобарно (при постоянно налягане) отдава явна топлина на охлаждащата среда до достигане на състояние на наситени пари с температура на кондензация;

**Процес 2' – 3':** във втората част (приблизително 75 %) от топлообменната повърхност на кондензатора при температура и налягане на кондензация хладилният агент претърпява изобарно-изотермичен (при постоянни налягане и температура) процес на фазов преход – кондензация, при който отдава скрита (латентна) топлина на охлаждащата среда до достигане на състояние на наситена течност;

**Процес 3' – 3:** в третата част (приблизително 5 %) от топлообменната повърхност на кондензатора хладилният агент изобарно отдава топлина на охлаждащата среда, като температурата му се понижава под температурата на кондензация – хладилният агент се подохладява;

Съгласно втория закон на термодинамиката, за да се отдава топлина от хладилния агент на охлаждащата среда, е необходимо температурата на кондензация да е по-висока от температурата на охлаждащата среда (със средно 10 – 15 K при стандартен въздушен кондензатор с принудена конвекция на въздуха).

**Процес 3 – 4:** в състояние на подохладена течност хладилният агент постъпва в дроселиращия орган, където налягането и температурата му се понижават изоенталпийно (при постоянна специфична енталпия) от налягане на кондензация и температура на подохладената течност до налягане и температура на изпарение.

Понижаването на температурата на хладилния агент при дроселиране е за сметка на парообразуване – преминаване на част от хладилния агент от течно в

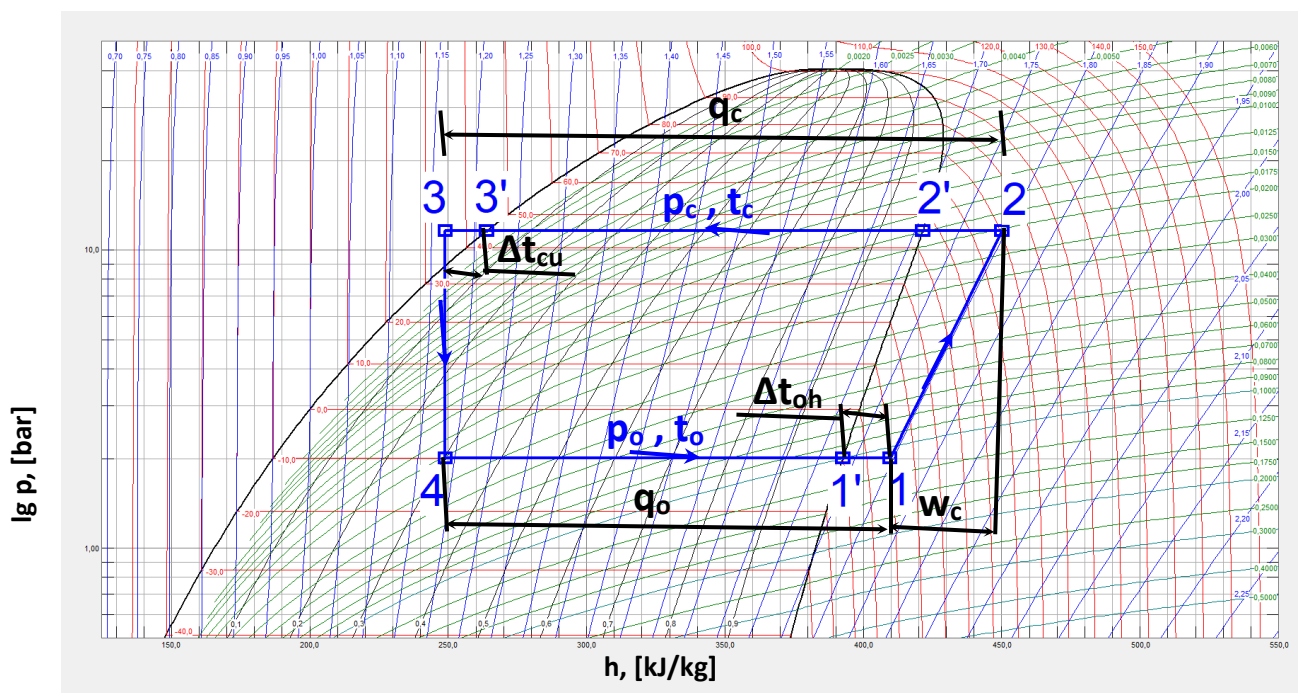


газообразно агрегатно състояние, при което частта, която се изпарява, отнема скрита топлина от останалата част от хладилния агент.

Процесът в изпарителя от т. 4 до т. 1 се разделя на два подпроцеса:

**Процес 4 – 1’:** в състояние на двуфазна смес хладилният агент постъпва в изпарителя, където в първата част (приблизително 90 %) от топлообменната повърхност при налягане и температура на изпарение претърпява изобарно-изотермичен процес на фазов преход – кипене, при който отнема скрита топлина от охлаждащата среда до достигане на състояние на наситени пари;

**Процес 1’ – 1:** във втората част (приблизително 10 %) от топлообменната повърхност на изпарителя хладилният агент изобарно отнема явна топлина от охлаждащата среда, като температурата му се повишава над температурата на изпарение – хладилният агент се прегрява до достигане на състояние на прегрети студени пари, с което се засмуква от компресора.



Фигура 2.2 Хладилен цикъл, изобразен в lg(p)-h диаграма

В реалните хладилни системи са налице термодинамични загуби, вследствие на които процесът на съгъстяване не протича при постоянна специфична ентропия. Също така са налице топлообмен и падове на налягане в тръбопроводите, които водят до промяна на състоянието на хладилния агент. Ето защо трябва да се има предвид, че процесите в реалния хладилен цикъл се различават от тези в теоретичния, разгледан по-горе.



Температура на изпарение  $t_0$  е температурата на насищане, съответстваща на налягането, измерено на изхода на изпарителя.



Прегревът  $\Delta t_{oh}$  е разликата между измерената температура на хладилния агент и температурата на насищане при съответното налягане. Дименсията на прегрева е К (келвин).



Температура на кондензация  $t_c$  е температурата на насищане, съответстваща на налягането, измерено на входа на кондензатора.



Подохлаждането  $\Delta t_{cu}$  е разликата между температурата на насищане при съответното налягане и измерената температура на хладилния агент. Дименсията на подохлаждането е К.

## 2.3 Параметри на хладилния цикъл

Специфичните параметри на хладилния цикъл са следните:

- **Специфична масова студопроизводителност** – количеството топлина, което един килограм от хладилния агент отнема при преминаването му през изпарителя;

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad (2-1)$$

където,

$q_0$ , [kJ/kg] – специфична масова студопроизводителност;

$h_1$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на изхода на изпарителя;

$h_4$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на входа на изпарителя;

- **Специфична обемна студопроизводителност** – количеството топлина, което един кубичен метър от хладилния агент отнема при преминаването му през изпарителя;





$$q_v = \frac{h_1 - h_4}{v_1} = \frac{q_0}{v_1} \quad (2-2)$$

където,

$q_v$ , [kJ/m<sup>3</sup>] – специфична обемна студопроизводителност;

$h_1$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на изхода на изпарителя;

$h_4$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на входа на изпарителя;

$v_1$ , [m<sup>3</sup>/kg] – специфичен обем на входа на компресора;

- **Специфична работа на компресора** – работата, която компресора извършва за сгъстяване на един килограм от хладилния агент;

$$w_c = h_2 - h_1 \quad (2-3)$$

където,

$w_c$ , [kJ/kg] – специфична работа на компресора;

$h_2$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на изхода на компресора;

$h_1$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на входа на компресора;

- **Специфична кондензаторна топлина** – количеството топлина, което един килограм от хладилния агент отдава при преминаването му през кондензатора;

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (2-4)$$

където,

$q_c$ , [kJ/kg] – специфична кондензаторна топлина;

$h_2$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на входа на кондензатора;

$h_4$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на изхода на кондензатора.

Пълните параметри на хладилния цикъл са следните:

- **Хладилна мощност** – количеството топлина, което се отнема от охлаждащата среда за единица време;



$$\dot{Q}_0 = \dot{m} \times (h_1 - h_4) = \dot{m} \times q_0 \quad (2-5)$$

където,

$\dot{Q}_0$ , [kW] – хладилна мощност;

$\dot{m}$ , [kg/s] – масов дебит на хладилния агент;

$h_1$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на изхода на изпарителя;

$h_4$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на входа на изпарителя;

$q_0$ , [kJ/kg] – специфична масова студопроизводителност;



1 kW (киловат) = 1 kJ/s (килоджаул за секунда).

Хладилната мощност може да се изрази още по следния начин:

$$\dot{Q}_0 = \dot{V}_0 \times \frac{h_1 - h_4}{v_1} = \dot{V}_0 \times q_v \quad (2-6)$$

където,

$\dot{Q}_0$ , [kW] – хладилна мощност;

$\dot{V}_0$ , [m<sup>3</sup>/s] – реален обемен дебит на хладилния агент;

$h_1$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на изхода на изпарителя;

$h_4$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на входа на изпарителя;

$q_v$ , [kJ/m<sup>3</sup>] – специфична обемна студопроизводителност;

Трябва да се прави разлика между реалния обемен дебит на хладилния агент  $\dot{V}_0$  и геометричния обемен дебит на компресора  $\dot{V}_g$ . Реалният обемен дебит на хладилния агент винаги е по-малък от геометричния обемен дебит на компресора поради обемните загуби, дължащи се на обратно разширение, неплътности, топлообмен и падове на налягане в компресора.



- **Пълна работа на компресора** – работата, която компресорът извършва за единица време;

$$\dot{W}_c = \dot{m} \times (h_2 - h_1) = \dot{m} \times w_c \quad (2-7)$$

където,

$\dot{W}_c$ , [kW] – пълна работа на компресора;

$\dot{m}$ , [kg/s] – масов дебит на хладилния агент;

$h_2$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на изхода на компресора;

$h_1$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на входа на компресора;

$w_c$ , [kJ/kg] – специфична работа на компресора;

Трябва да се прави разлика между пълна работа на компресора  $\dot{W}_c$  и консумирана електрическа мощност  $P_{EL}$ . Електрическата мощност включва електромеханичните загуби в компресора и стойността и винаги е по-голяма от тази на пълната работа.

- **Кондензаторна (топлинна) мощност** – количеството топлина, което се отдава на охлаждащата среда за единица време;

$$\dot{Q}_c = \dot{m} \times (h_2 - h_3) = \dot{m} \times q_c \quad (2-8)$$

където,

$\dot{Q}_c$ , [kW] – кондензаторна (топлинна) мощност;

$\dot{m}$ , [kg/s] – масов дебит на хладилния агент;

$h_2$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на входа на кондензатора;

$h_3$ , [kJ/kg] – специфична енталпия на изхода на кондензатора;

$q_c$ , [kJ/kg] – специфична кондензаторна топлина;



Показателят, чрез който се определя ефективността на хладилната система, е коефициентът на преобразуване, който се дефинира чрез следната зависимост:

$$COP_R = \frac{\text{хладилен ефект}}{\text{вложена работа}} = \frac{\dot{m} \times (h_1 - h_4)}{\dot{m} \times (h_2 - h_1)} = \frac{\dot{Q}_0}{\dot{W}_c} \quad (2-9)$$

Коефициентът на преобразуване е безразмерна величина (няма мерна единица).



Понижаването на температурата на изпарение и повишаването на температурата на кондензация водят до понижаване на коефициента на преобразуване!

**Термопомпата** е хладилна система, при която се използва топлинният ефект за загряване на определена среда (въздух, вода и т.н.).

Коефициентът на преобразуване на термопомпата се дефинира по следния начин:

$$COP_{HP} = \frac{\text{топлинен ефект}}{\text{вложена работа}} = \frac{\dot{m} \times (h_2 - h_3)}{\dot{m} \times (h_2 - h_1)} = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_c} \quad (2-10)$$

## 2.4 Термодинамични процеси в надкритичния хладилен цикъл

На Фигура 2.3 е изобразен транскритичен хладилен цикъл в lg(p)-h диаграма.

Основната принципна разлика между конвенционалния и транскритичния хладилен цикъл е, че процесът на отдаване на топлина на охлаждащата среда протича в надкритичната област без фазов преход. При този процес хладилният агент е в състояние на надкритичен флуид.

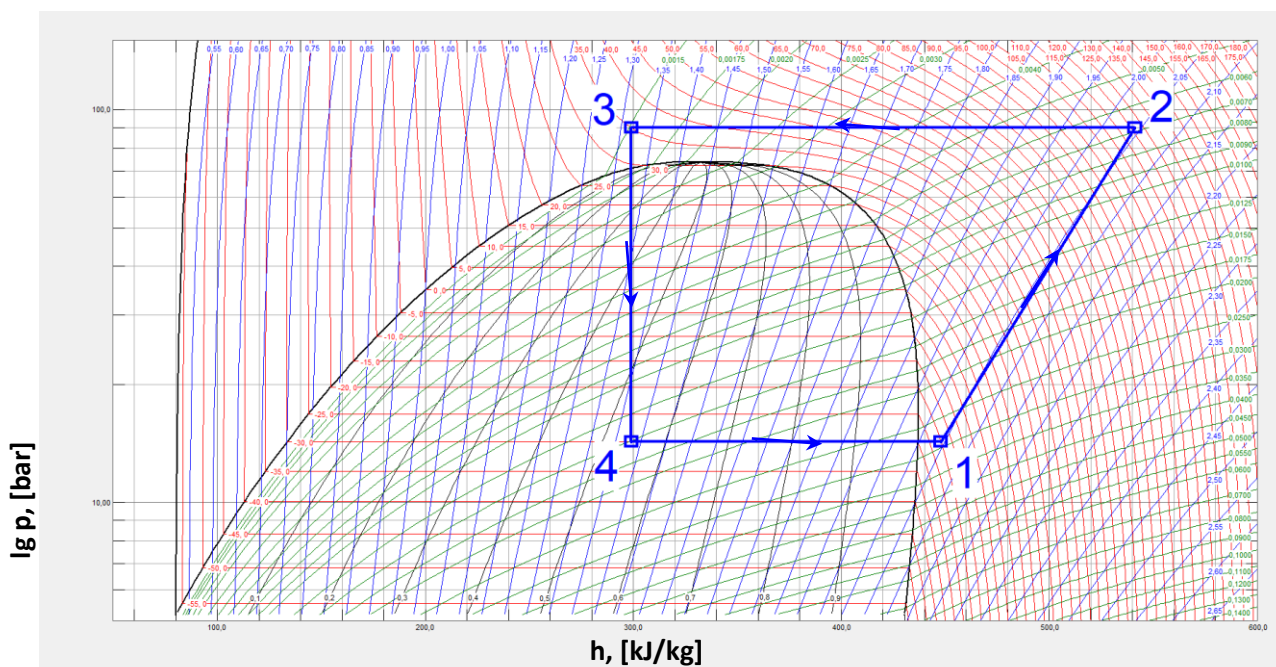
Хладилните системи, в които топлината се отдава в надкритичната област, се наричат транскритични хладилни системи. Този вид системи са изключително актуални поради широкото навлизане на въглеродния диоксид (R744) като хладилен агент в централизираните търговски хладилни системи и термопомпите за загряване на вода за битови и технологични нужди.



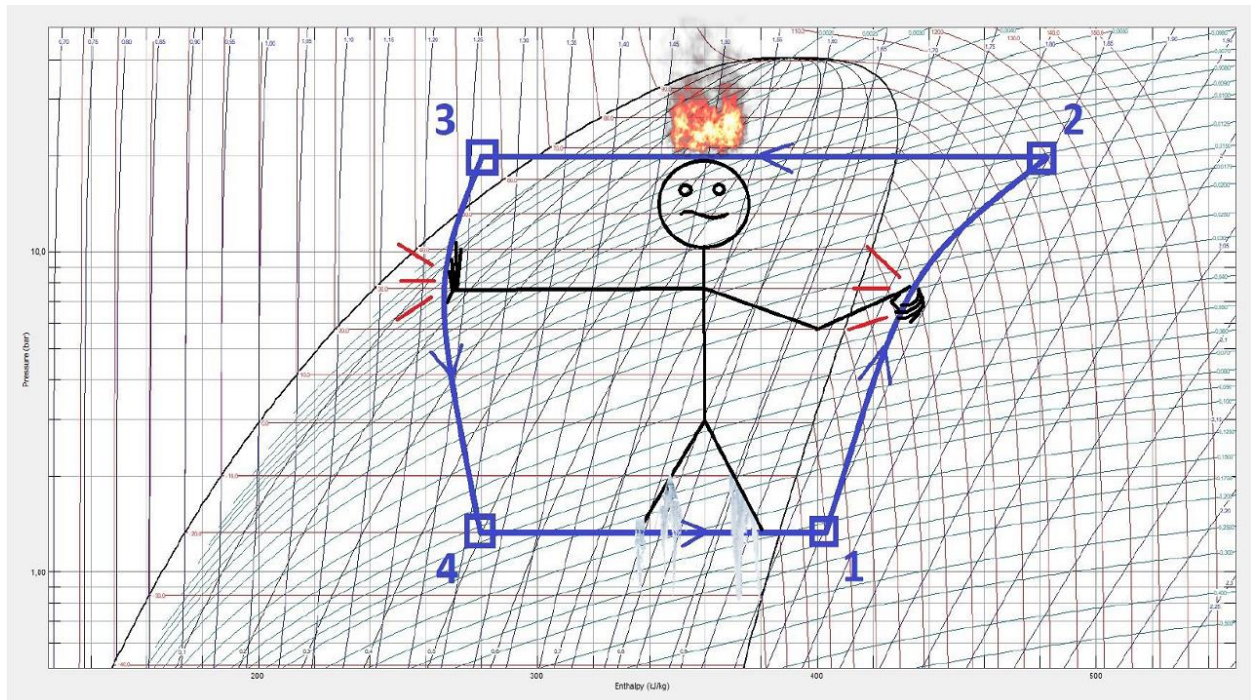
Поради ниската критична температура на въглеродния диоксид при температури на охлаждащата среда над  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  процесът на отдаване на топлина се осъществява в надкритичната област.

По-големите термодинамични загуби при процеса на дроселиране в транскритичния хладилен цикъл налагат предприемане на мерки, като съгъстяване от междинно налягане и използване на ежектори, които усложняват конфигурацията на хладилната система.

Въпреки това при правилно използване на въглеродния диоксид като хладилен агент транскритичните хладилни системи осигуряват еквивалентна и по-висока ефективност от конвенционалните.



Фигура 2.3 Транскритичен хладилен цикъл, изобразен в  $\lg(p)$ - $h$  диаграма



Благодарение на придобитите дотук знания можем да разберем какви са предизвикателствата пред нашия колега от началото на учебното помагало.

Краката му замръзват, защото температурата на изпарение е много ниска.

Главата му гори, защото температурата на кондензация е много висока.

С лявата ръка дърпа към себе си процеса на съгъстяване, за да намали специфичната работа на компресора.

С дясната ръка бутва процеса на дроселиране, за да увеличи специфичната масова студопроизводителност.



## Въпроси и задачи:

- 1) По какъв начин температурата на хладилния агент се повишава над тази на охлаждащата среда? Кой е елементът в хладилната система, в който се осъществява това?
- 2) През какви състояния преминава хладилния агент в кондензатора?
- 3) По какъв начин температурата на хладилния агент се понижава под тази на охлаждащата среда? Кой е елементът в хладилната система, в който се осъществява това?
- 4) През какви състояния преминава хладилният агент в изпарителя?
- 5) Определете специфичната масова студопроизводителност  $q_0$  на хладилна система, работеща с R134a, при  $t_0 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{oh}} = 10\text{ K}$ ,  $t_c = 45\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{cu}} = 5\text{ K}$ .
- 6) Дадена е хладилна система, работеща с R717 (амоняк), при  $t_0 = -35\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{oh}} = 10\text{ K}$ ,  $t_c = 35\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{cu}} = 5\text{ K}$ . С колко процента се променя специфичната обемна студопроизводителност  $q_{0v}$  при повишаване на температурата на изпарение с  $5\text{ }^\circ\text{C}$  при еднакви други условия?
- 7) Определете необходимия геометричен обем дебит на компресора  $\dot{V}_g$  в система, работеща с R290, която трябва да осигури хладилна мощност  $\dot{Q}_0 = 10\text{ kW}$  при  $t_0 = -15\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{oh}} = 20\text{ K}$ ,  $t_c = 48\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{cu}} = 5\text{ K}$  (Обемната ефективност на компресора е единица.)
- 8) Определете специфичната работа на компресора  $w_c$  на хладилна система, работеща с R134a, при  $t_0 = -15\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{oh}} = 10\text{ K}$  и  $t_c = 45\text{ }^\circ\text{C}$ .
- 9) Дадена е хладилна система, работеща с R717 (амоняк), при  $t_0 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{oh}} = 10\text{ K}$ ,  $t_c = 35\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{cu}} = 5\text{ K}$ . С колко процента се променя коефициентът на преобразуване  $COP_R$  при понижаване на температурата на изпарение с  $3\text{ }^\circ\text{C}$  при еднакви други условия?
- 10) Какво е състоянието на хладилния агент на входа на регулиращия вентил в транскритична хладилна система, работеща с R744 (въглероден диоксид), ако температурата на охлаждащата среда е  $33\text{ }^\circ\text{C}$ ?



## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Посочва правилно начина, по който температурата на хл. агент се повишава над тази на охлаждащата среда и елемента, в който това се осъществява.	ДА 6 НЕ 0		
2.	Посочва правилно състоянията, през които преминава хладилния агент в кондензатора.	ДА 6 НЕ 0		
3.	Посочва правилно начина, по който температурата на хл. агент се понижава над тази на охлаждащата среда и елемента, в който това се осъществява.	ДА 6 НЕ 0		
4.	Посочва правилно състоянията, през които преминава хладилния агент в изпарителя.	ДА 6 НЕ 0		
5.	Определя правилно специфичната масова студопроизводителност.	ДА 6 НЕ 0		
6.	Определя правилно процентното изменение на специфичната обемна студопроизводителност.	ДА 6 НЕ 0		
7.	Определя правилно необходимия геометричен обем дебит на компресора.	ДА 6 НЕ 0		
8.	Определя правилно специфичната работа на компресора при зададените работни параметри.	ДА 6 НЕ 0		
9.	Определя правилно процентното изменение на COP <sub>R</sub> при зададените работни параметри.	ДА 6 НЕ 0		
10.	Определя правилно състоянието на хладилния агент на входа на регулиращия вентил.	ДА 6 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:		
Клас:	дата:	подпис:
Преподавател:		
Оценка:		подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение		Срок:





## 3. КЛАСИФИКАЦИЯ НА ХЛАДИЛНИТЕ АГЕНТИ

### В този урок ще научим:

- Как се класифицират хладилните агенти, според техните химически състав и съдържание.
- Какви видове смеси трябва да познаваме.
- Какви са правилата при зареждане на зеотропни смеси.
- Как да разчитаме номенклатурата, чрез която се обозначават хладилните агенти.

### 3.1 Класификация на хладилните агенти

На Фигура 3.1 е показана примерна класификация на най-често използваните хладилни агенти.

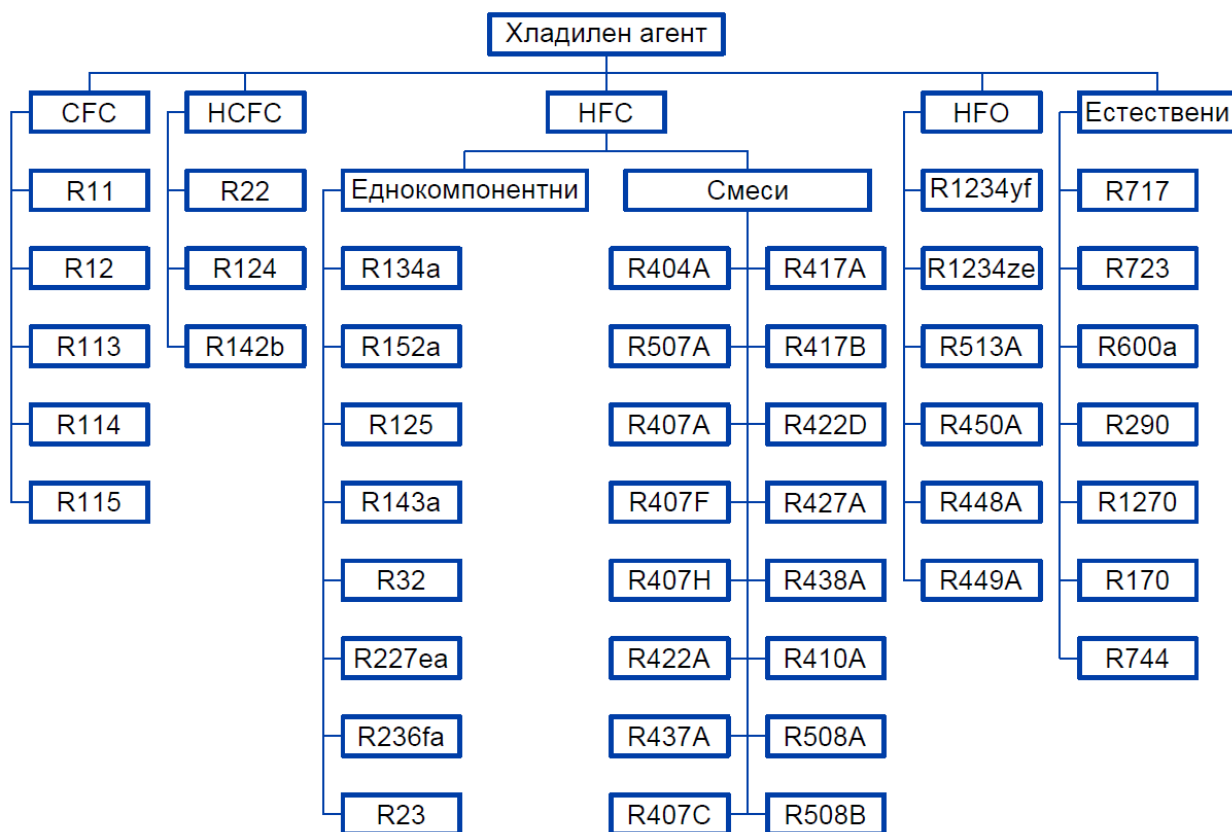
Според химическия си състав хладилните агенти се разделят на хлорофлуоровъглеродороди (CFC), хидрохлорофлуоровъглеродороди (HCFC), хидрофлуоровъглеродороди (HFC), ненаситени хидрофлуороолефини (HFO) и естествени вещества.

Според съдържанието си хладилните агенти се разделят на еднокомпонентни (чисти вещества) и смеси. Смесите се разделят по следния начин:

- Зеотропни – налице е температурен глайд по-голям от 0,5 K;
- Азеотропни – не е налице температурен глайд при конкретното процентно съотношение на компонентите (поведението им е като на чисти вещества);
- Почти азеотропни смеси - налице е температурен глайд по-малък от 0,5 K.



Температурен глайд е разликата между температурата на наситените пари и температурата на наситената течност при едно и също налягане.



Фигура 3.1 Примерна класификация на най-често използваните хладилни агенти

Налягането, при което нормално се определя температурният глайд, е налягането на насищане при температура  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На Фигура 3.2 е показана  $\lg(p)$ - $h$  диаграма на хладилен агент R407C, който е зеотропна смес. Характерно за зеотропните смеси е, че в дфуфазната област изобарите и изотермите не са успоредни. При  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  налягането на насищане е  $4,5\text{ bar}$ . При същото налягане температурата на насищане е  $-6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Това означава, че температурният глайд на R407C при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  е  $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

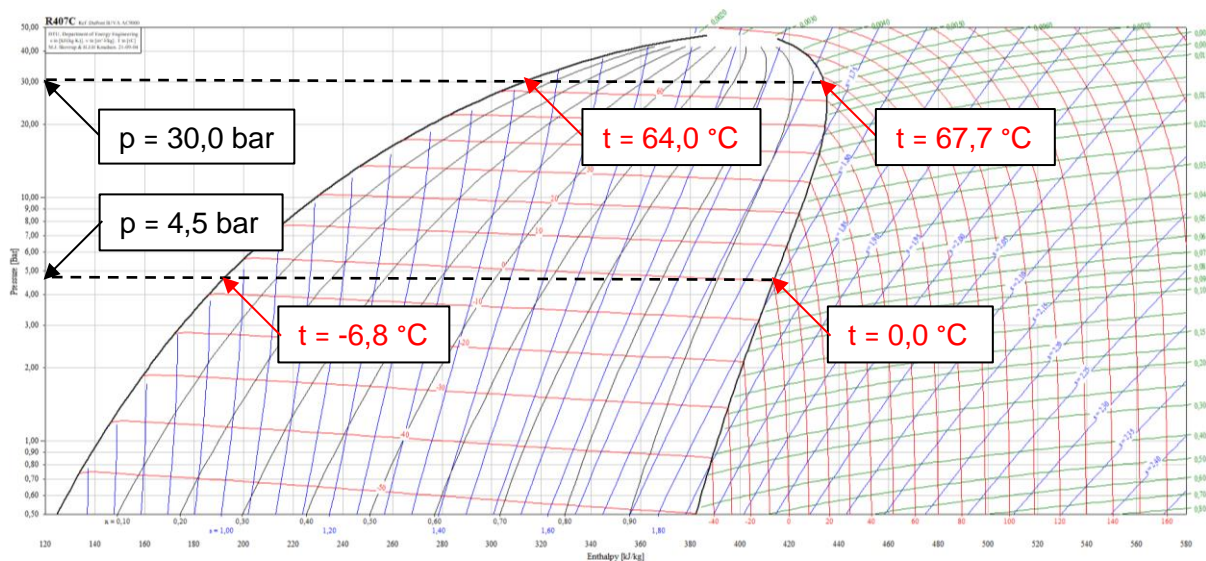
Трябва да се отбележи, че температурният глайд зависи от налягането. Например при налягане  $30,0\text{ bar}$  температурният глайд на R407C е  $3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Фигура 3.2).



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ



Фигура 3.2 lg(p)-h диаграма на хладилен агент R407C – зеотропна смес



Зеотропните хладилни агенти трябва да се зареждат в течна фаза, за да не се допуска нарушаване на процентно съотношение на компонентите в хладилния агент, който постъпва в системата.

Например при кипене на R407C при постоянно налягане температурата, при която кипи сместа, се увеличава, като компонентите с по-ниска температура на насищане R32 и R125 кипят преобладаващо спрямо R134a. Оставащата течност е богата на R134a. Температурата ѝ се повишава до преминаване на цялото количество в газообразно състояние. Трябва да се отбележи, че това не означава, че компонентите с по-ниска температура на насищане първи преминават изцяло в газообразно състояние и остава само течен R134a. Промяната в процентното съотношение на компонентите при фазов преход на зеотропните смеси е относително ограничена.

Аналогично при кондензация на зеотропна смес при постоянно налягане температурата, при която се втечняват парите, намалява, като преобладаващо се втечняват компонентите с по-висока температура на насищане.

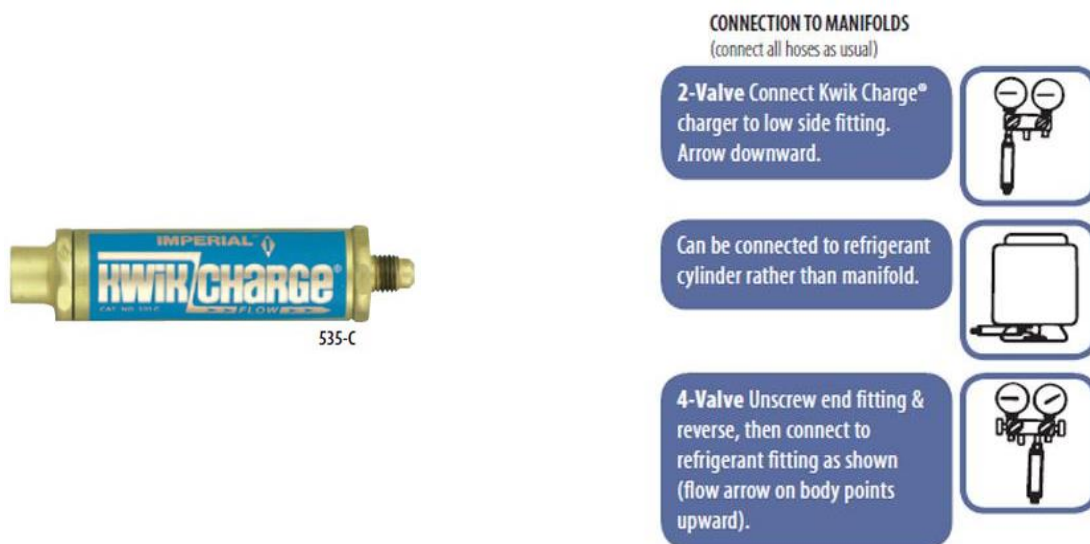
Поради описания по-горе механизъм при зареждане, например на R407C в парна фаза, първоначално от бутилката се отвежда по-голямо количество R32 и R125, докато в нея остава течност, съдържаща по-голямо количество R134a. По този начин се нарушава процентното съотношение на компонентите в хладилния агент, който се зарежда в системата.



При зареждане в течна фаза е важно да се предотврати връщане на течен хладилен агент към компресора. За целта течността се зарежда в следните точки на системата:

- в течностния тръбопровод или в ресивера;
- след дроселиращия орган на входа на изпарителя;
- в смукателния тръбопровод преди отделител на течност.

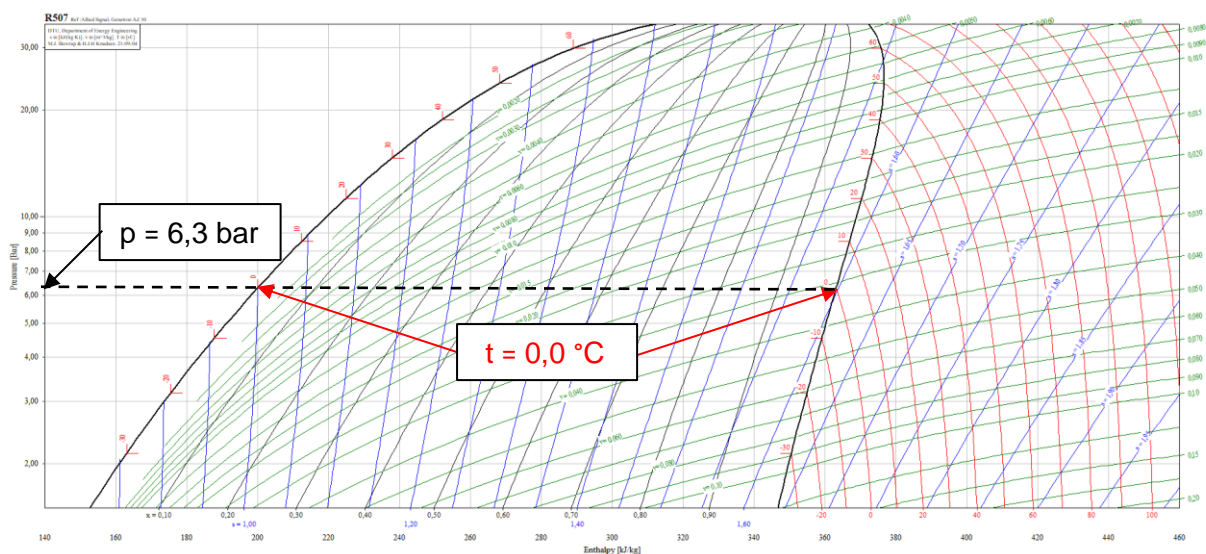
Алтернативно може да се използва специално устройство (Фигура 3.3) за зареждане в смукателния тръбопровод, което дроселира течния хладилен агент и по този начин предизвиква преминаването му в парна фаза.



Фигура 3.3 Специално устройство за зареждане на хл. агент в течна фаза  
(източник: Imperial – <https://imperial-tools.com/>)

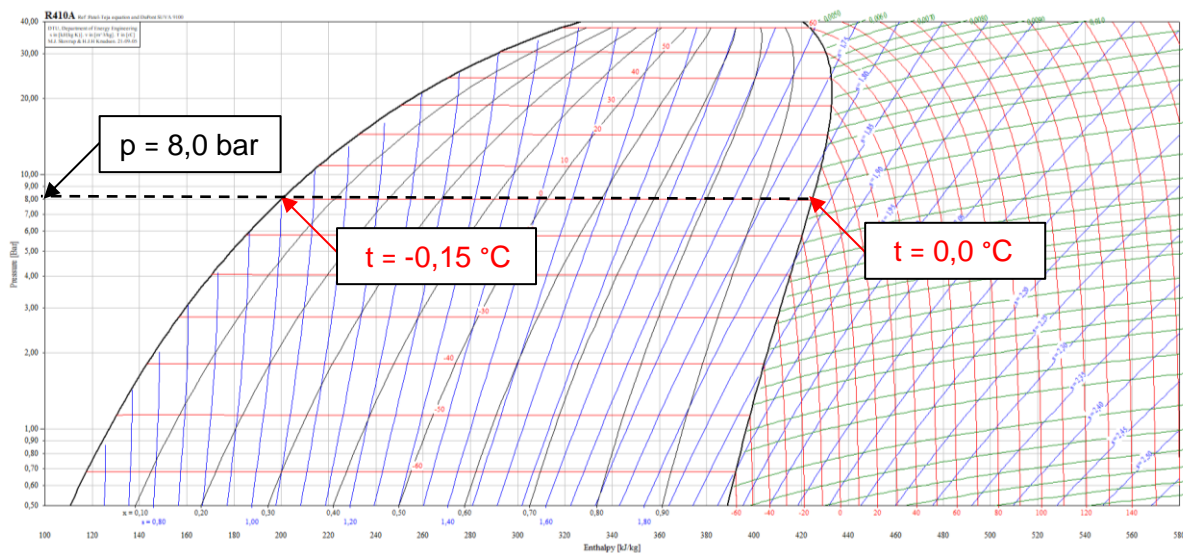
Допустимо е контролирано зареждане в смукателния тръбопровод, но само и единствено при условие че течният хладилен агент се дроселира чрез спирателния вентил на манометричния блок или друг вентил и състоянието на хладилния агент се следи чрез наблюдателно стъкло, като се гарантира, че в системата постъпва хладилен агент само в парна фаза.

На Фигура 3.4 е показана lg(p)-h диаграма на хладилен агент R507, който е азеотропна смес. Поради факта, че при дадено налягане компонентите на азеотропните смеси кипят при еднаква температура, тези хладилни агенти могат да се зареждат както в течна, така и в парна фаза, както еднокомпонентните хладилни агенти.



Фигура 3.4 lg(p)-h диаграма на хладилен агент R507 – азеотропна смес

На Фигура 3.5 е показана lg(p)-h диаграма на R410A, който е почти азеотропна смес (псевдоазеотропна смес). От фигурата се вижда, че температурният глайд е по-малък от 0,2 °C. Въпреки малкия температурен глайд, е правилно почти азеотропните смеси да се зареждат в течна фаза.

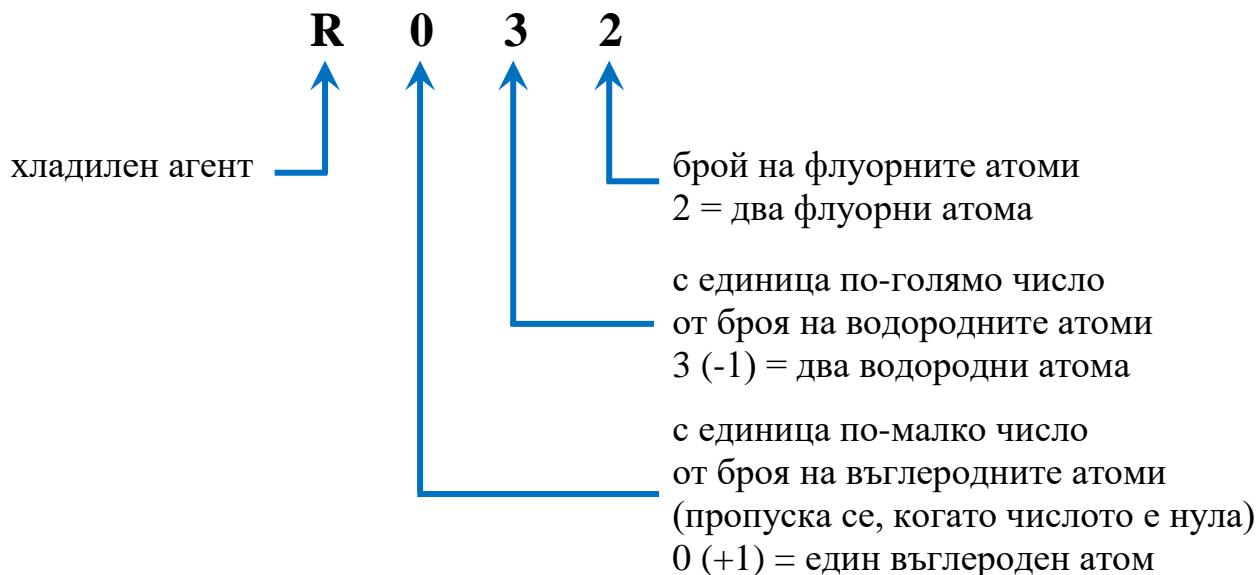


Фигура 3.5 lg(p)-h диаграма на хладилен агент R410A – почти азеотропна смес



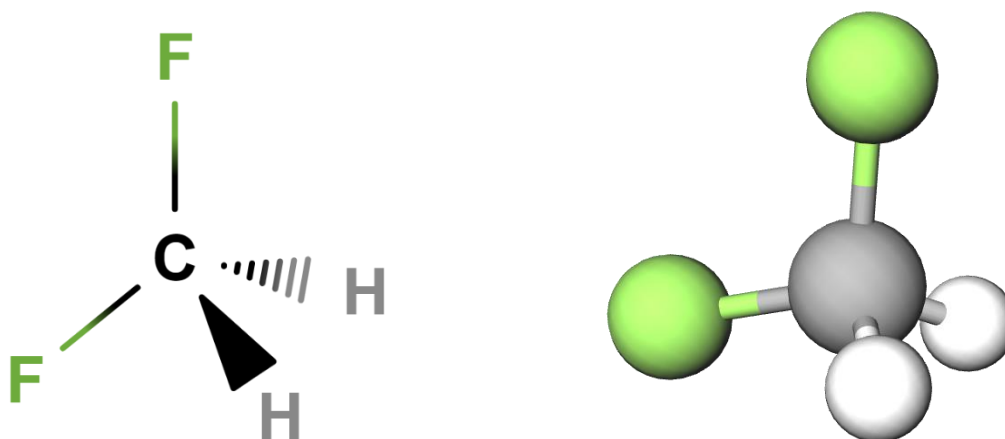
## 3.2 Номенклатура

### 3.2.1 Халогенирани въглеродороди (производни на алканите)

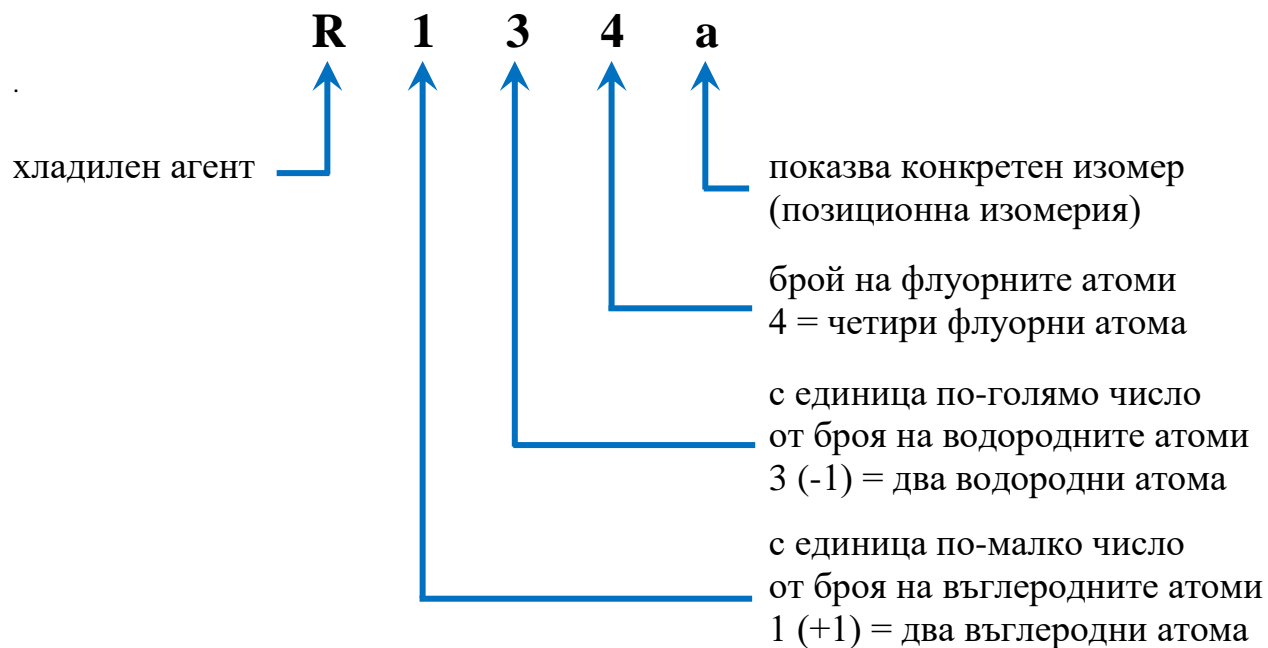


Халогенираните хладилни агенти, чиято първа цифра в обозначението е 0, са производни на метана ( $\text{CH}_4$ ).

Проста емпирична формула:  $\text{CH}_2\text{F}_2$  (дифлуорометан)

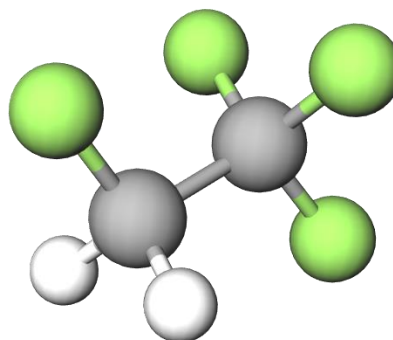
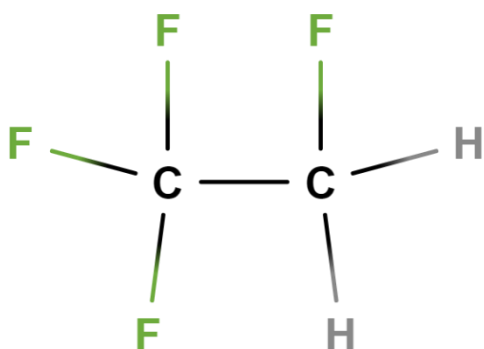


Фигура 3.6 Двумерна и триизмерна структурни формули на R32  
(генерирани чрез: <https://molview.org/>)



Халогенираните хладилни агенти, чиято първа цифра в обозначението е 1, са производни на етана ( $C_2H_6$ ).

Проста емпирична формула:  $CH_2FCF_3$  (1,1,1,2-тетрафлуороетан).



Фигура 3.7 Двумерна и триизмерна структурна формула на R134a  
(генерирани чрез: <https://molview.org/>)

**R 2 9 0**

[www.eufunds.bg](http://www.eufunds.bg)





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

хладилен агент

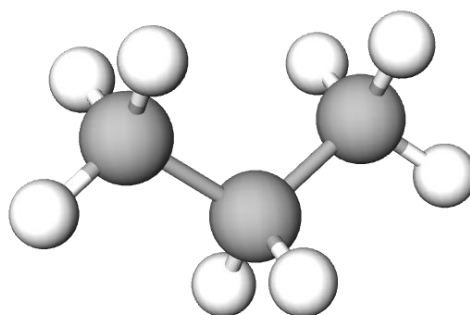
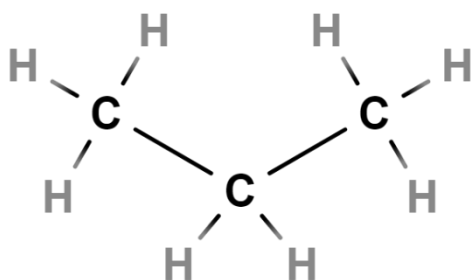
брой на флуорните атоми  
 $0 =$  нула флуорни атома

с единица по-голямо число  
от броя на водородните атоми  
 $9 (-1) =$  осем водородни атома

с единица по-малко число  
от броя на въглеродните атоми  
(пропуска се, когато числото е нула)  
 $0 (+1) =$  един въглероден атом

Халогенираните хладилни агенти, чиято първа цифра в обозначението е 2, са производни на пропана ( $C_3H_8$ ).

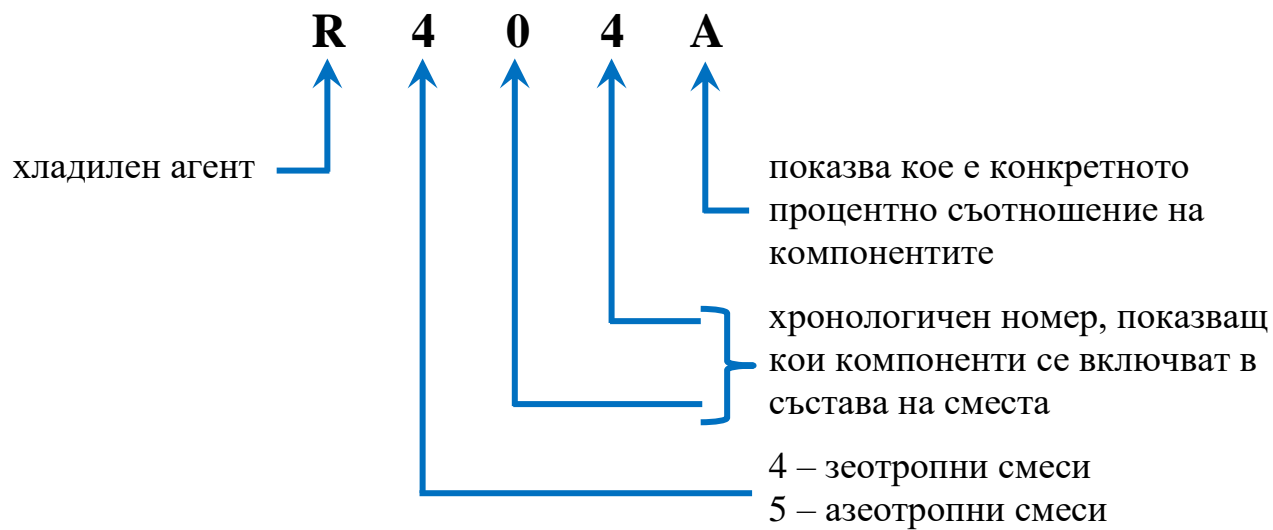
Проста емпирична формула:  $C_3H_8$  (пропан)



Фигура 3.8 Двумерна и триизмерна структурна формула на R290  
(генерирани чрез: <https://molview.org/>)

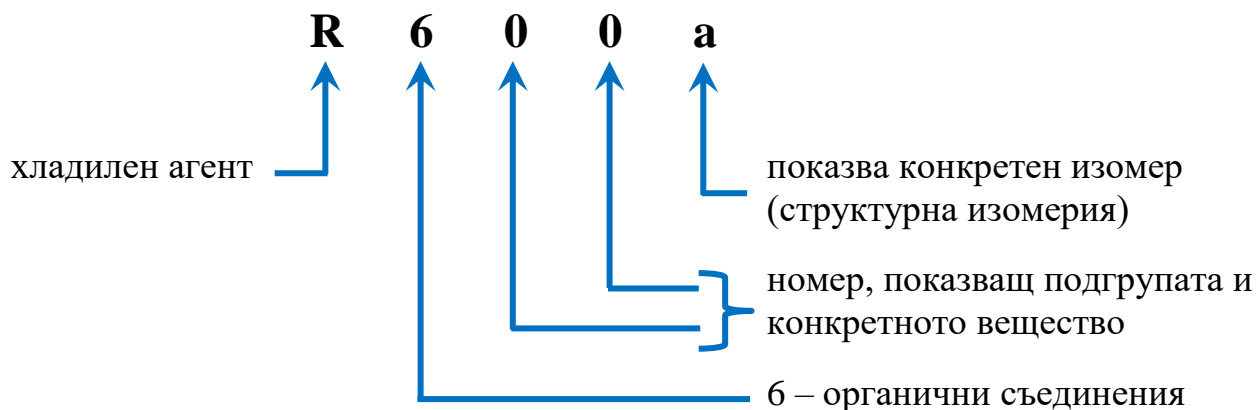


### 3.2.2 Смеси



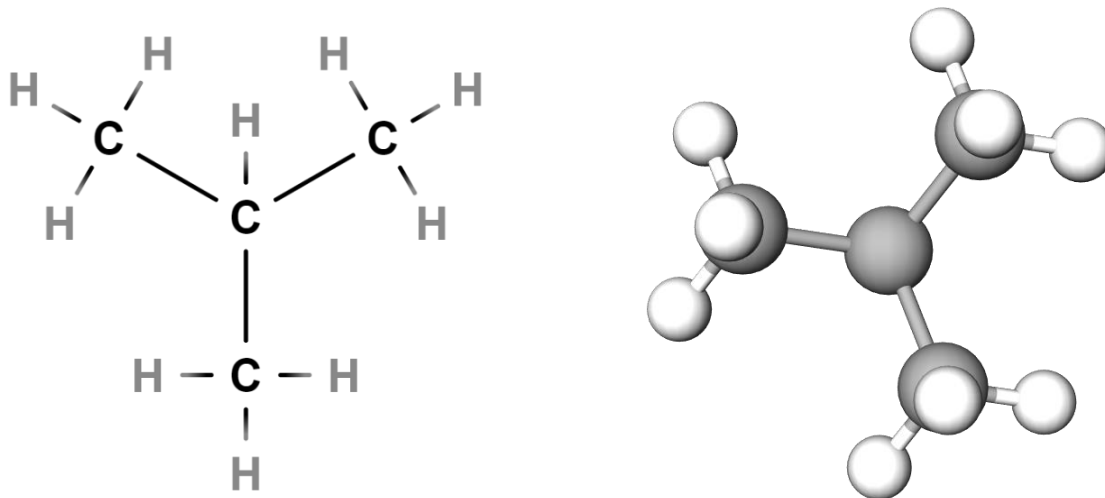


### 3.2.3 Наситени въглеводороди



Тази група хладилни агенти включва няколко подгрупи – въглеводороди, кислородни, серни и азотни съединения.

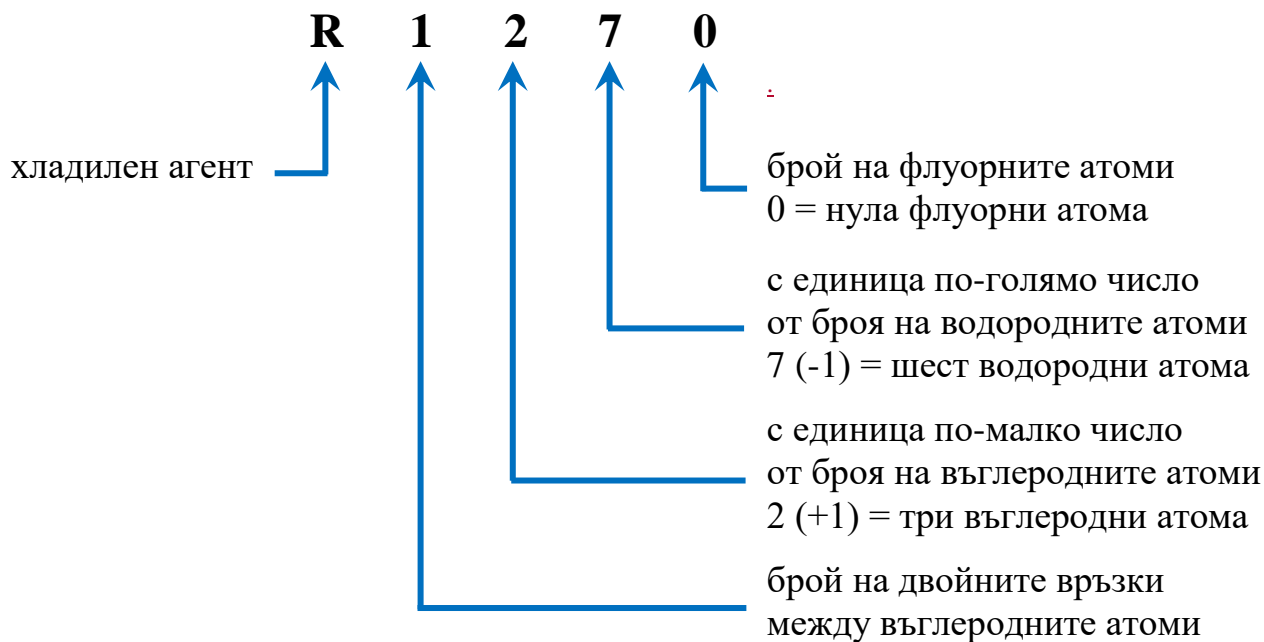
Проста емпирична формула:  $C_4H_{10}$  (изобутан)



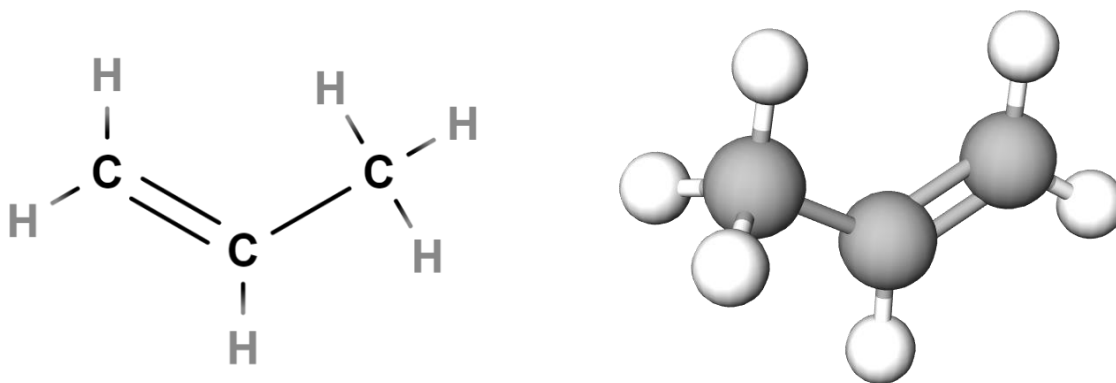
Фигура 3.9 Двумерна и триизмерна структурна формула на R600a  
(генерирани чрез: <https://molview.org/>)



### 3.2.4 Ненаситени въглеводороди



Проста емпирична формула:  $C_3H_6$  (пропен)



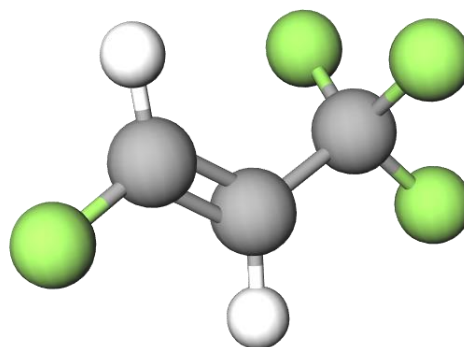
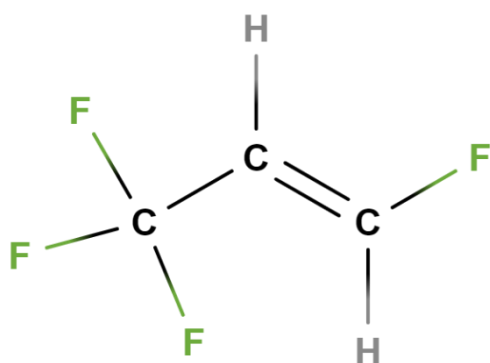
Фигура 3.10 Двумерна и триизмерна структурна формула на R1270  
(генерирани чрез: <https://molview.org/>)



### 3.2.5 Хидрофлуороолефини



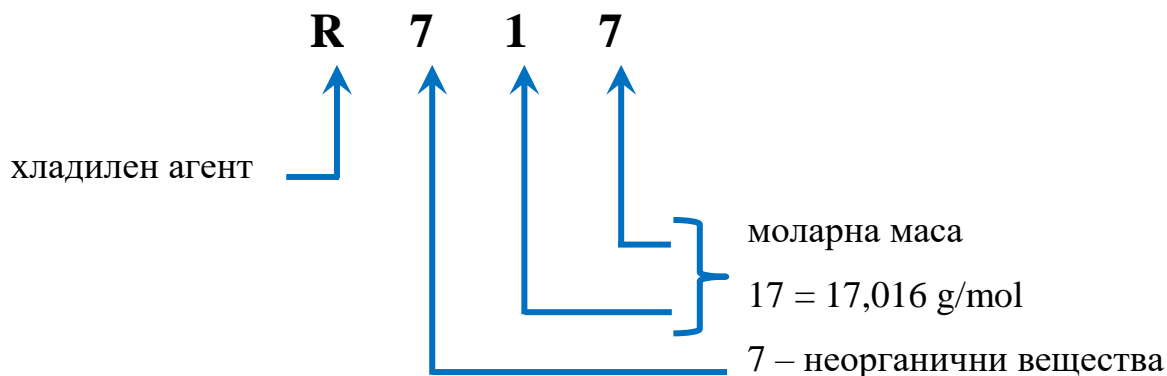
Проста емпирична формула:  $C_3H_2F_4$  (1,3,3,3 тетрафлуоропропен)



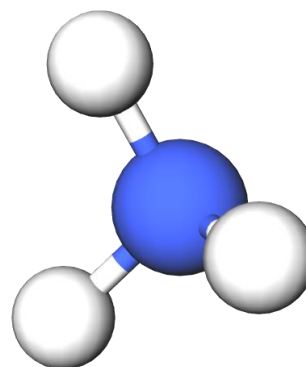
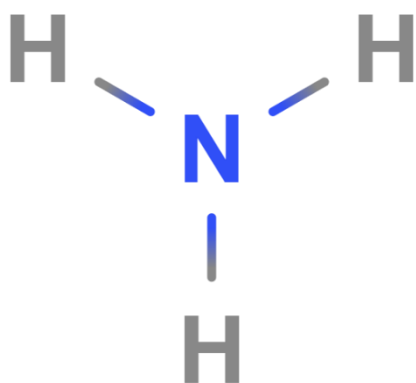
Фигура 3.11 Двумерна и триизмерна структурна формула на R1234ze(E)  
(генерирани чрез: <https://molview.org/>)



### 3.2.6 Неорганични съединения



Проста емпирична формула: **NH<sub>3</sub>** (амоняк)



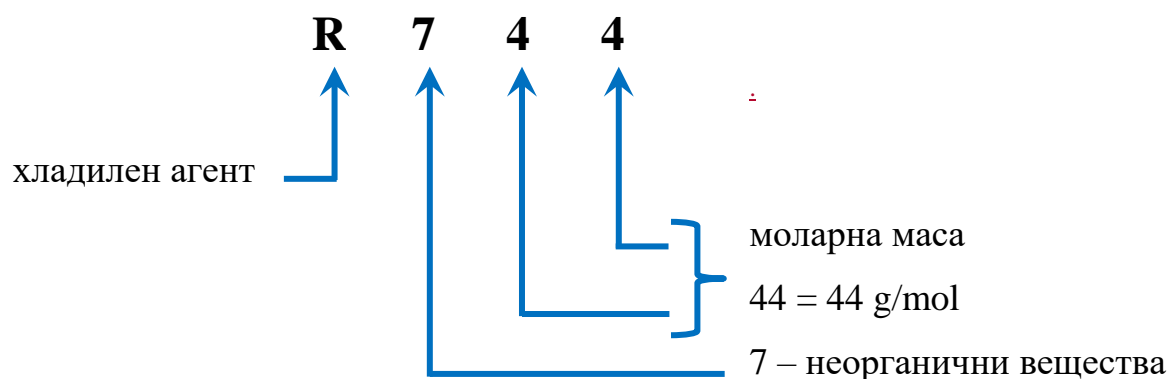
Фигура 3.12 Двуймерна и триизмерна структурна формула на R717  
(генерирани чрез: <https://molview.org/>)



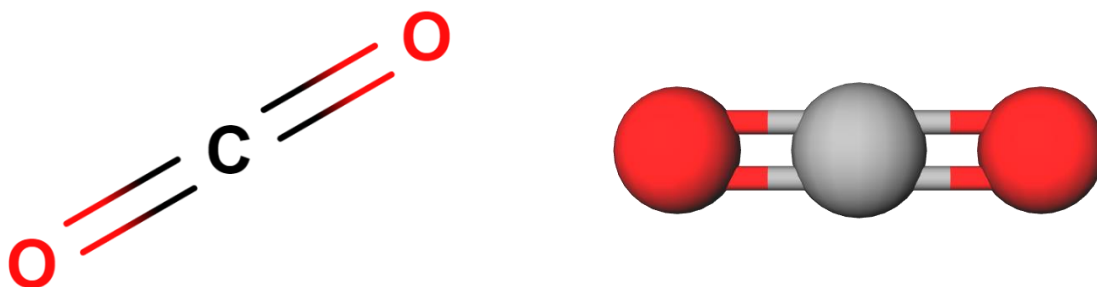
ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ



Проста емпирична формула:  $\text{CO}_2$  (въглероден диоксид)



Фигура 3.13 Двумерна и триизмерна структурна формула на R717  
(генерирани чрез: <https://molview.org/>)

### Въпроси и задачи:

- 1) Към коя група хладилни агенти спада R134a, според химическия си състав?
- 2) Каква е разликата между зеотропна и азеотропна смес?
- 3) В каква фаза трябва да се зарежда R449A?
- 4) Допустимо ли е зареждането на течен хладилен агент директно на входа на компресора?
- 5) Посочете броя на въглеродните, водородните и флуорните атоми в молекулата на R125.

### Критерии за оценка:



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Посочва правилно групата, към която спада хл. агент R134a, според химическия си състав.	ДА 12 НЕ 0		
2.	Посочва правилно разликата между зеотропна и азеотропна смес.	ДА 12 НЕ 0		
3.	Посочва правилно фазата, в която се зарежда R449A.	ДА 12 НЕ 0		
4.	Отговаря правилно дали е допустимо зареждането на течен хл. агент директно на входа на компресора.	ДА 12 НЕ 0		
5.	Посочва правилно броя на въглеродните, водородните и флуорните атоми в молекулата на R125.	ДА 12 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:		
Клас:	дата:	подпис:
Преподавател:		
Оценка:		подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение		Срок:





## 4. ОСНОВНИ ТЕРМОДИНАМИЧНИ И ПРЕНОСНИ СВОЙСТВА НА ХЛАДИЛНИТЕ АГЕНТИ

### В този урок ще научим:

- Кои са основните термодинамични и преносни свойства на хладилните агенти.
- Какво е влиянието на термодинамичните и преносни свойства на хладилния агент върху характеристиките на хладилната система.
- Какви са изискванията към хладилните агенти.

В Таблица 4.1 са представени основните свойства на някои от най-широко използваните самостоятелно конвенционални и алтернативни хладилни агенти. Част от посочените вещества, като R134A, R32, R1234yf, R1234ze(E) и R600a, участва в състава и на редица смеси.

Таблица 4.1 Основни свойства на някои широко използвани хладилни агенти



Хл. агент	Съст.	NBP [°C]	t <sub>c</sub> [°C]	p [bar]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	C <sub>p</sub> [kJ/kg.K]	C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub> [-]	г [kJ/kg]	q <sub>v</sub> [kJ/m <sup>3</sup> ]	к [mW/m.K]	ν [cm <sup>2</sup> /s]	GWP	Гр. на без. [-]
<b>НFC</b>													
R134a	x = 0	-26,07	101,06	2,93	1,295	1,34	1,53	198,60	2,866	92,01	0,002059	1430	A1
	x = 1				14,43	0,90	1,18						
R404A	x = 0	-45,47	72,12	6,10	1,150	1,39	1,57	165,82	5,058	72,78	0,001559	3922	A1
	x = 1			6,00	30,5	1,00	1,24						
R32	x = 0	-51,65	78,11	8,13	1,055	1,75	1,86	315,30	6,965	145,25	0,001426	675	A2L
	x = 1				22,09	1,25	1,47						
R410A	x = 0	-51,44	71,34	8,00	1,170	1,52	1,72	221,31	6,768	103,24	0,001380	2088	A1
	x = 1				30,58	1,14	1,37						
<b>НFO</b>													
R1234yf	x = 0	-29,49	94,70	3,16	1,176	1,29	1,49	163,29	2,882	71,47	0,001741	<1	A2L
	x = 1				17,65	0,92	1,15						
R1234ze(E)	x = 0	-18,97	109,36	2,17	1,240	1,32	1,48	184,18	2,157	83,06	0,002118	<1	A2L
	x = 1				11,71	0,88	1,13						
<b>НC</b>													
R1270	x = 0	-88,58	32,17	23,87	400,3	3,62	2,23	302,55	13,948	90,60	0,001456	3	A3
	x = 1				46,10	2,99	1,84						
R290	x = 0	-42,13	96,74	4,74	528,6	2,49	1,59	374,87	3,880	105,97	0,002380	3	A3
	x = 1				10,35	1,74	1,22						
R600a	x = 0	-11,75	134,66	1,57	580,6	2,28	1,44	354,34	1,508	98,63	0,003420	3	A3
	x = 1				4,26	1,62	1,13						
<b>Неорганични</b>													
R744	x = 0	-56,56*	30,98	34,85	927,4	2,54	2,69	230,89	22,546	109,15	0,001083	1	A1
	x = 1				97,65	1,86	2,14						
R717	x = 0	-33,32	132,41	4,29	638,6	4,61	1,63	1,261,80	4,366	522,57	0,002581	0	B2L
	x = 1				3,46	2,70	1,40						

\* Налягането в тройната точка на въглеродния диоксид е 5,18 бара;

\*\* Свойствата в таблицата са дадени при температура на насищане 0 °C (Източник – NIST REFPROP 10);

NBP – температура на кипене при стандартно атмосферно налягане;

x – паросъдържание (x = 0 – наситена течност / x = 1 – наситени пари);

t<sub>c</sub> – критична температура;

p – налягане на насищане;

ρ – плътност;

C<sub>p</sub> – специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане;

C<sub>p</sub>/C<sub>v</sub> – отношение на специфичния топлинен капацитет при постоянно налягане към този при постоянен обем (показател на адиабатата);

г – латентна топлина на фазов преход;

q<sub>v</sub> – специфична обемна студопроизводителност;

к – коефициент на топлопроводност;

ν – кинематичен вискозитет;



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

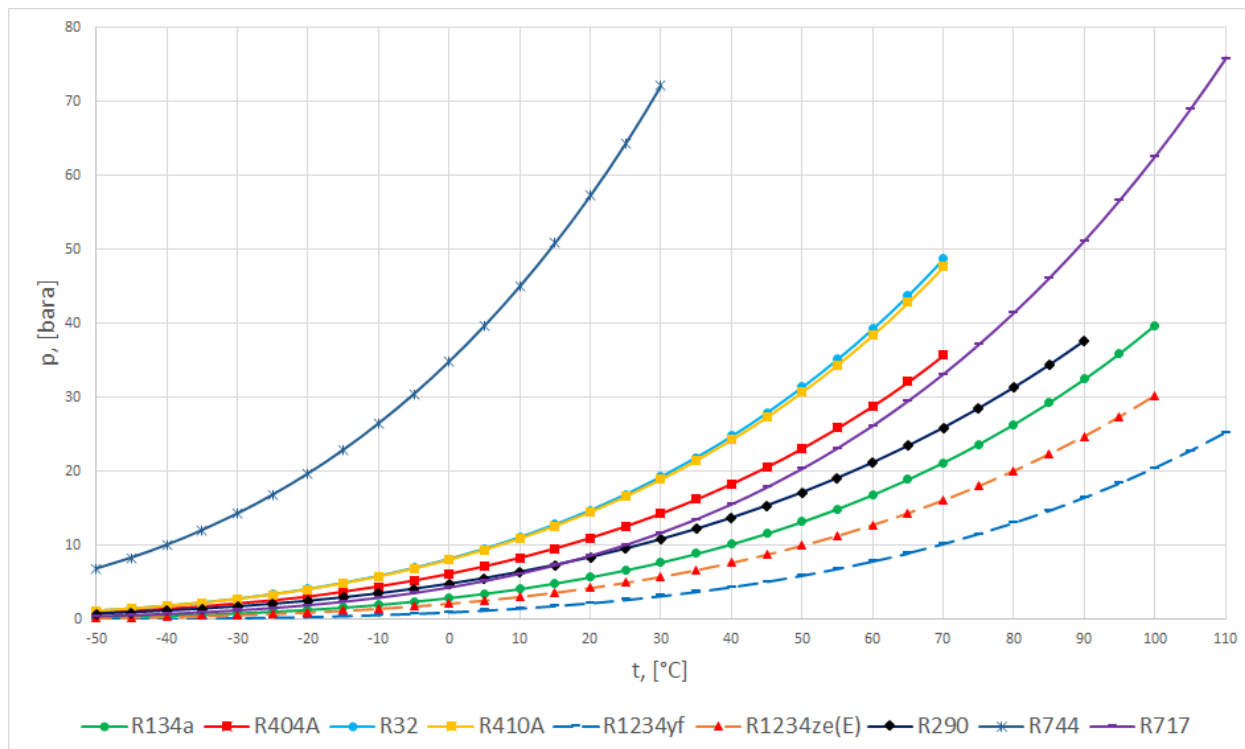
GWP – потенциал за глобално затопляне.

## 4.1 Термодинамични свойства

Трите най-важни величини, на база на които може да се направи цялостна оценка за термодинамичните свойства на даден хладилен агент, са:

- налягане на насищане –  $p_g / p_f$ , [bar];
- критична температура –  $T_c$ , [K];
- моларна маса –  $M$ , [kg/mol].

Фигура 4.1 показва графика с наляганията на насищане като функция от температурата на някои от най-широко използваните хладилни агенти.



Фигура 4.1 Налягане на насищане като функция от температурата на някои широко използвани хладилни агенти

По-високото налягане на насищане (сравнява се при  $t = 0^{\circ}\text{C}$ ) означава:

- по-висока плътност, респективно по-нисък специфичен обем на хл. агент;
- по-малки отношения на сгъстяване – по-висока изоентропна (термодинамична) и обемна ефективност на компресора;
- по-малка промяна в температурата на насищане при дадена промяна в налягането – по-голям пад на налягане в изпарителя и тръбопроводите без намаляване на ефективността.

По-високата критична температура означава по-малки термодинамични загуби при процесите на дроселиране и сгъстяване, респективно по-висока ефективност. Висока критична температура имат веществата, чиято молекула е полярна като водата.

По-голямата моларна маса означава по-голяма плътност на хладилния агент.




Други важни термодинамични свойства на хладилните агенти са:



- плътност на течната/парната фаза –  $\rho_f / \rho_g$ , [kg/m<sup>3</sup>];
- латентна топлина на фазов преход –  $r$ , [kJ/kg];
- специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане –  $C_p$ , [kJ/kgK];
- специфичен топлинен капацитет при постоянен обем –  $C_v$ , [kJ/kgK];
- показател на политропата –  $n$ , [-].

По-високата плътност на парната фаза означава:

- по-малък геометричен обемен дебит на компресора при една и съща хладилна мощност и специфична масова студопроизводителност;
- по-малки диаметри на тръбопроводите.

	R134a	R22	CO <sub>2</sub>
Сух смукателен тръбопровод			

Фигура 4.2 Сравнение между диаметъра на смукателен тръбопровод при работа с R134a, R22 и R744 (CO<sub>2</sub>) и еднакъв масов дебит

По-голямата латентна топлина на фазов преход означава по-голяма специфична масова студопроизводителност, съответно по-малък масов дебит на хладилния агент. Голяма латентна топлина на фазов преход имат веществата с малка молекулна маса като вода и амоняк.

По-ниският специфичен топлинен капацитет на течността означава по-малко паросъдържание на входа на изпарителя, респективно по-голяма специфична масова студопроизводителност.

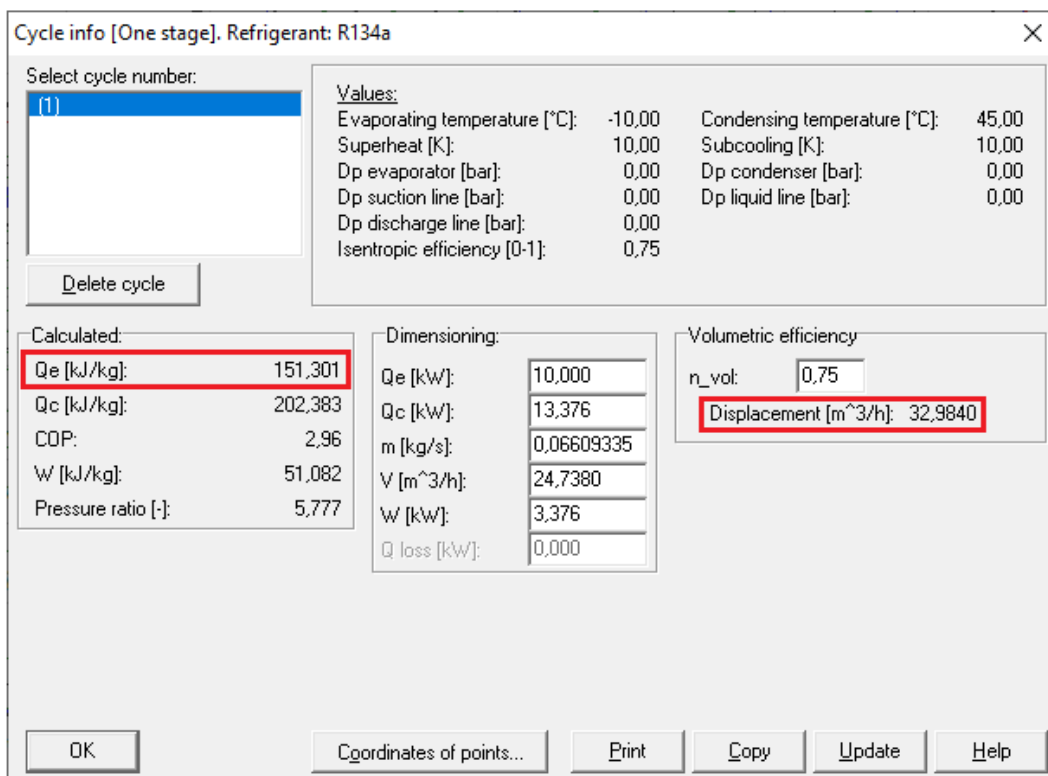
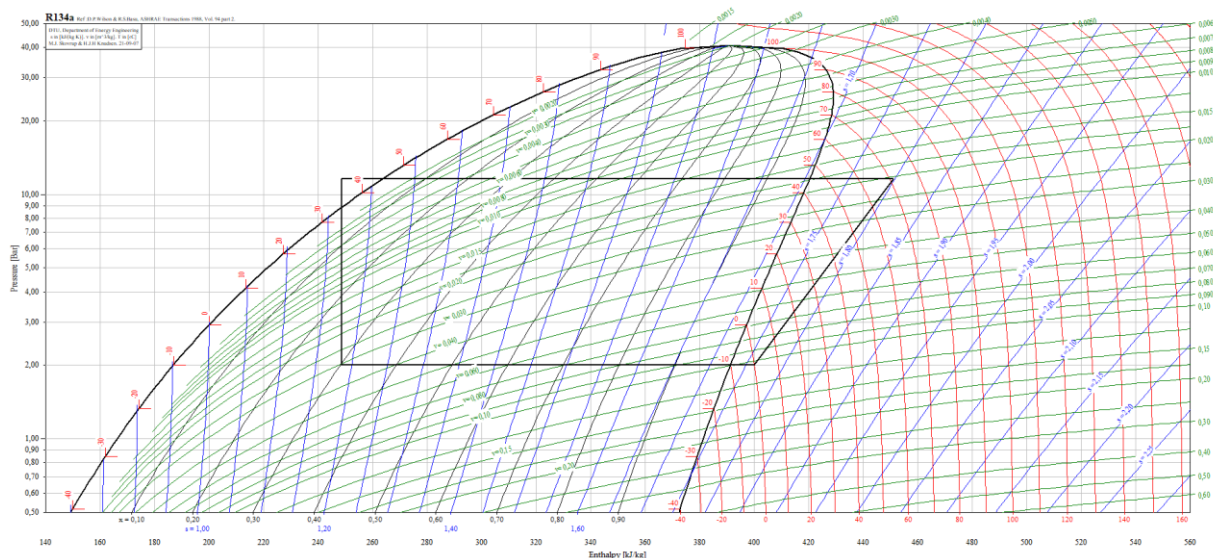
По-високият специфичен топлинен капацитет на парите означава по-малки термодинамични загуби при процеса на сгъстяване.

Веществата, чиито молекули имат по-сложна структура и по-голяма молекулна маса, имат по-висок специфичен топлинен капацитет.

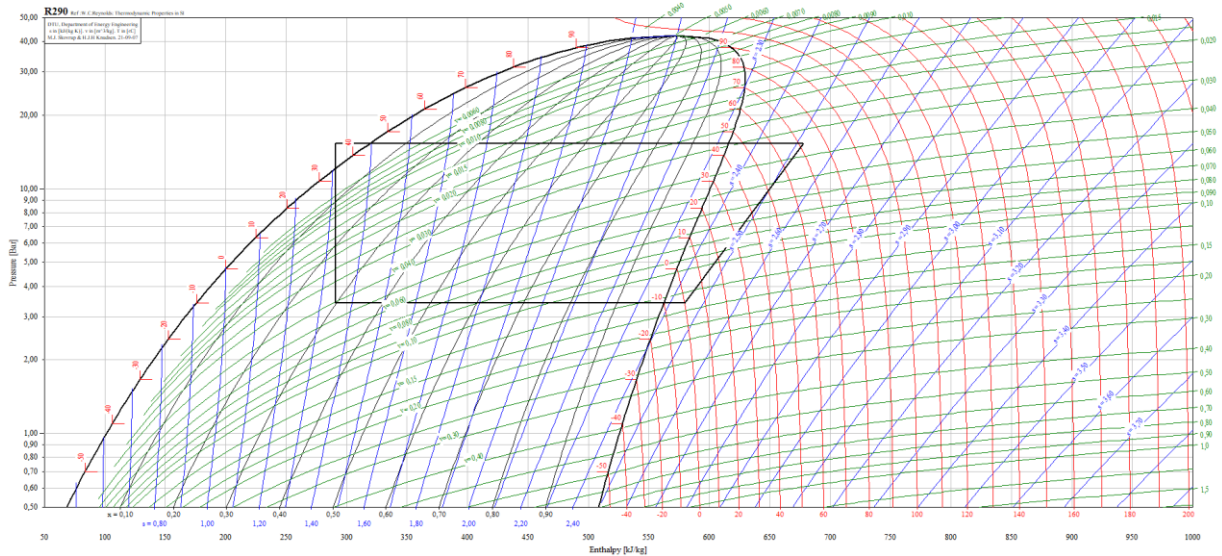
По-малкият показател на политропата означава по-малка специфична работа на компресора и по-ниска температура на нагнетяване.



**Пример:** Да се определи необходимият геометричен обеман дебит на компресора в  $\text{m}^3/\text{h}$  при  $t_0 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{0h} = 10\text{ K}$ ,  $t_c = 45\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{cu} = 10\text{ K}$  и обемна ефективност  $\eta_{\text{vol}} = 0,75$  за следните хладилни агенти: R134a, R290 и R717.



Фигура 4.3 Хладилен цикъл и необходим геометричен обеман дебит на компресора при  $t_0 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{0h} = 10\text{ K}$ ,  $t_c = 45\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{cu} = 10\text{ K}$  и работа с хладилен агент R134a



Cycle info [One stage]. Refrigerant: R290

Select cycle number:

Values:

Evaporating temperature [°C]:	-10,00	Condensing temperature [°C]:	45,00
Superheat [K]:	10,00	Subcooling [K]:	10,00
Dp evaporator [bar]:	0,00	Dp condenser [bar]:	0,00
Dp suction line [bar]:	0,00	Dp liquid line [bar]:	0,00
Dp discharge line [bar]:	0,00		
Isentropic efficiency [0-1]:	0,75		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	288,556
Qc [kJ/kg]:	387,125
COP:	2,93
W [kJ/kg]:	98,570
Pressure ratio [-]:	4,471

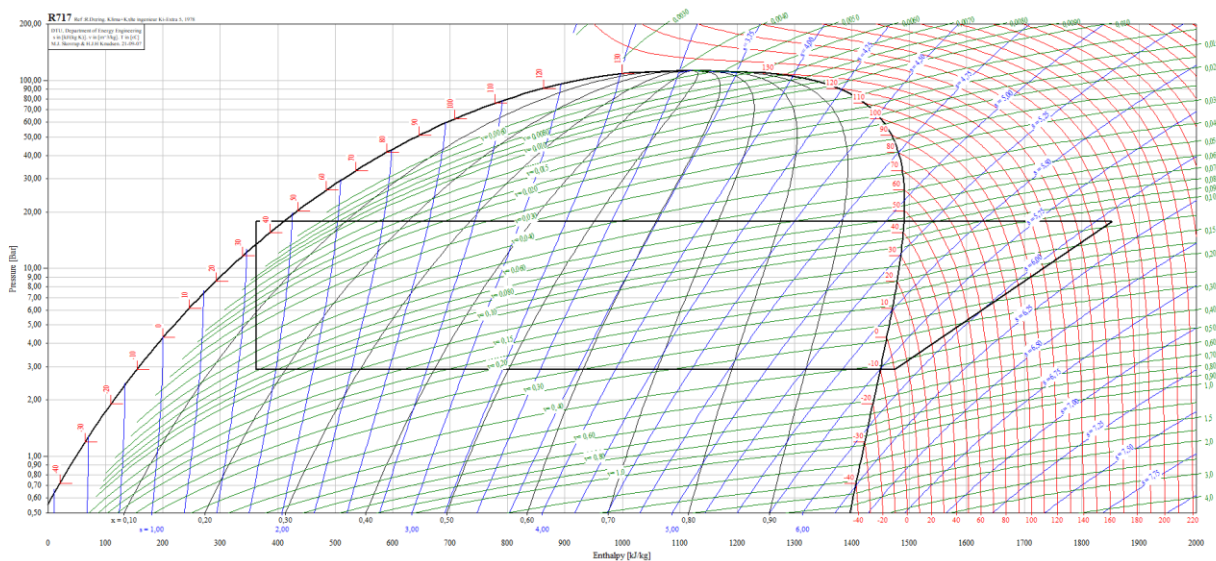
Dimensioning:

Qe [kW]:	10,000
Qc [kW]:	13,416
m [kg/s]:	0,03465536
V [m <sup>3</sup> /h]:	17,2322
W [kW]:	3,416
Q loss [kW]:	0,000

Volumetric efficiency:

n_vol:	0,75
Displacement [m <sup>3</sup> /h]:	22,9763

Фигура 4.4 Хладилен цикъл и необходим геометричен обем дебит на компресора при  $t_0 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{0h} = 10\text{ K}$ ,  $t_c = 45\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{cu} = 10\text{ K}$  и работа с хладилен агент R290



Cycle info [One stage]. Refrigerant: R717

Select cycle number:  
[1]

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	-10,00	Condensing temperature [°C]:	45,00
Superheat [K]:	10,00	Subcooling [K]:	10,00
Dp evaporator [bar]:	0,00	Dp condenser [bar]:	0,00
Dp suction line [bar]:	0,00	Dp liquid line [bar]:	0,00
Dp discharge line [bar]:	0,00		
Isentropic efficiency [0-1]:	0,75		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	1111,625
Qc [kJ/kg]:	1490,973
COP:	2,93
W [kJ/kg]:	379,347
Pressure ratio [-]:	6,129

Dimensioning:

Qe [kW]:	10,000
Qc [kW]:	13,413
m [kg/s]:	0,00899584
V [m <sup>3</sup> /h]:	14,1687
W [kW]:	3,413
Q loss [kW]:	0,000

Volumetric efficiency

n_vol:	0,75
Displacement [m <sup>3</sup> /h]:	18,8916

OK    Coordinates of points...    Print    Copy    Update    Help

Фигура 4.5 Хладилен цикъл и необходим геометричен обем дебит на компресора при  $t_0 = -10\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{0h} = 10\text{ K}$ ,  $t_c = 45\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{cu} = 10\text{ K}$  и работа с хладилен агент R717





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

### Анализ:

Обемният дебит на хладилния агент, необходим за осигуряване на определена хладилна мощност (или топлинна мощност, когато се отнася до термопомпа), се определя от специфичната масова студопроизводителност и специфичния обем на хладилния агент на входа на компресора.

От трите хладилни агентът R134a има най-висока плътност, респективно най-нисък специфичен обем (виж Таблица 4.1). Причината за това е, че въпреки по-ниското налягане на насищане (2,0 bara, спрямо 3,4 bara за R290 и 2,9 bara за R717), R134a има значително по-голяма моларна маса (102,0 g/mol, спрямо 44,1 g/mol за R290 и 17,0 g/mol на R717).

От Фигура 4.3, Фигура 4.4 и Фигура 4.5 се вижда, че хладилният агент, който изисква компресор с най-малък геометричен обем дебит, е R717 (амонякът) – 18,9 m<sup>3</sup>/h, спрямо 23,0 m<sup>3</sup>/h за R290 и **33,0 m<sup>3</sup>/h за R134a (с 42,7 % повече)**. Причината за това е значително по-малката специфична масова студопроизводителност на R134a – 151,3 kJ/kg, спрямо 288,6 kJ/kg за R290 и **1111,6 kJ/kg за R717 (с 86,4 % повече от R134a)**.

### Извод:

Хладилният агент, който изисква компресор с най-малък работен обем, е този с най-висока специфична обемна студопроизводителност.

Ето защо, за да се ограничат размерът (работния обем) и цената на една обемна машина (бутален, спирален, ротационен или винтов компресор), подходящият хладилен агент трябва да има висока плътност на парната фаза при конкретната температура на изпарение и голяма латентна топлина на фазов преход.

## 4.2 Преносни свойства

Най-важните преносни свойства на хладилните агенти са:

- коефициент на топлопроводност –  $\lambda$ , [W/mK];
- кинематичен вискозитет –  $\nu$ , [m<sup>2</sup>/s];
- температуропроводно число –  $\alpha$ , [m<sup>2</sup>/s].

Ниският кинематичен вискозитет означава:

- по-малки падове на налягане в тръбопроводите и вентилите;
- по-интензивен топлообмен.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ



Кинематичният вискозитет е мярка за това колко течлив е даден флуид. По-високият кинематичен вискозитет означава, че флуидът тече по-трудно.

Високите коефициент на топлопроводност и температуропроводно число означават по-интензивен топлообмен.



Коефициентът на топлопроводност отразява способността на дадено вещество да провежда топлина.

Температуропроводното число е отношение на способността на дадено вещество да провежда топлина към способността му да я акумулира.

По-интензивният топлообмен позволява при една и съща температурна разлика между охлаждащата/охлаждащата среда (вода, въздух и т.н.) и хладилния агент да се използват топлообменни апарати с по-малка повърхност или при една и съща топлообменна повърхност да се постигне по-малка температурна разлика. По-малката температурна разлика означава, че при една и съща температура на охлаждащата/охлаждащата среда хладилната система работи при по-висока температура на изпарение/по-ниска температура на кондензация, следователно с по-висока ефективност.

### 4.3 Изисквания към хладилните агенти

Изискванията към идеалния хладилен агент са:

- да има високо налягане на насищане, но да не надвишава максималното работно налягане на стандартните компоненти;
- да има висока критична температура и ниска тройна точка;
- да има висока плътност на парната фаза;
- да има голяма латентна топлина на фазов преход;
- да е химически стабилен и съвместим;
- да не е корозионно активен спрямо широко използваните конструкционни материали;
- да е разтворим в хладилните масла;
- да е нетоксичен и незапалим;



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

- да е добър електрически изолатор;
- да е екологичен;
- да има ниска цена и да е широко достъпен.

Важно е да се отбележи, че нито един хладилен агент не притежава едновременно изброените по-горе свойства и изборът на хладилен агент за конкретно приложение се състои в намирането на оптимален компромис.

### Въпроси и задачи:

- 1) От кои други термодинамични величини зависи плътността на хладилния агент?
- 2) Кой хладилен агент изисква по-малък масов дебит при една и съща хладилна мощност и работни параметри – R134a или R717? На кое термодинамично свойство се дължи това?
- 3) При еднаква хладилна мощност и работни параметри кой хладилен агент изисква компресор с по-голям работен обем – R134a или R744? Защо?
- 4) Какви трябва да са коефициентът на топлопроводност и кинематичният вискозитет, за да осигурява даден хладилен агент интензивен топлообмен?
- 5) Какво позволява интензивният топлообмен?



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Посочва правилно термодинамичните величини, от които зависи плътността на хладилния агент.	ДА 12 НЕ 0		
2.	Посочва правилно кой от двата хладилни агента изисква по-малък масов дебит и на кое термодинамично свойство се дължи това.	ДА 12 НЕ 0		
3.	Посочва правилно кой от двата хладилни агента изисква компресор с по-голям работен обем и аргументира правилно отговора.	ДА 12 НЕ 0		
4.	Посочва правилно какви трябва да са коефициентът на топлопроводност и кинематичният вискозитет, за да осигурява даден хладилен агент интензивен топлообмен.	ДА 12 НЕ 0		
5.	Посочва правилно какво позволява интензивният топлообмен.	ДА 12 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:		
Клас:	дата:	подпис:
Преподавател:		
Оценка:		подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение		Срок:



## 5. ОГРАНИЧЕНИЯ И ЗАБРАНИ ВЪРХУ УПОТРЕБАТА НА ХЛАДИЛНИТЕ АГЕНТИ

### В този урок ще научим:

- Какви са актуалните ограничения и забрани върху употребата на хладилните агенти.
- Какво е потенциал за глобално затопляне.

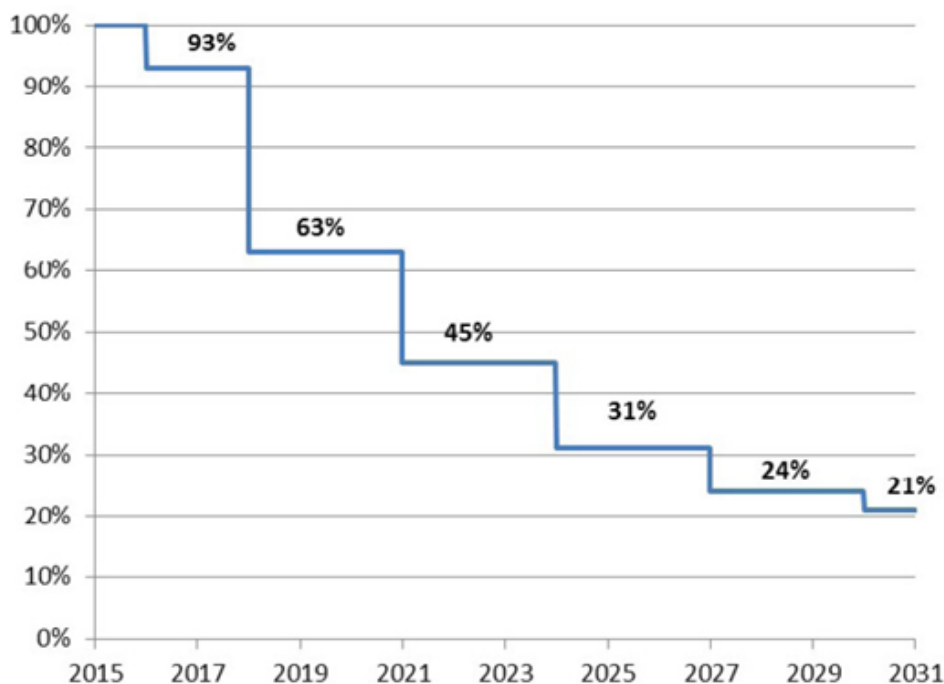
През 1987 г. е приет Протоколът от Монреал за веществата, които разрушават озоновия слой. Заедно с последващите осем изменения Протоколът налага пълна забрана върху използването на множество озоноразрушаващи вещества, основна част от които хлорофлуоровъглеродороди (CFC) и хидрохлорофлуоровъглеродороди (HCFC), служещи като хладилни агенти.

Тъй като притежават и висок потенциал за глобално затопляне (ПГЗ), забраната води до намаляване и на директните еквивалентни парникови емисии на хлорсъдържащи газове. Въпреки това, като техни заместители навлизат основно хидрофлуоровъглеродороди (HFC), които също имат висок ПГЗ.

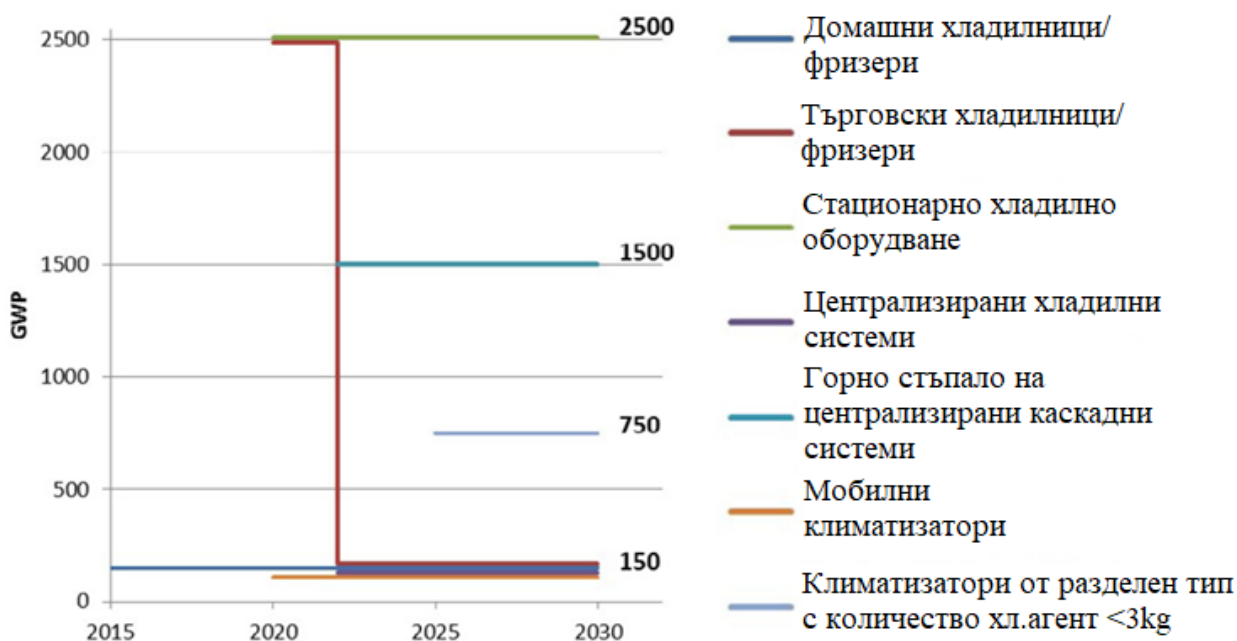
С приемането на РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 517/2014 Европейският съюз въвежда в действие конкретни мерки за драстично ограничаване на емисиите на флуорсъдържащи парникови газове. Съгласно документа държавите членки се задължават до 2030 г. да намалят еквивалентните парникови емисии в tonCO<sub>2</sub>-eq/yr до 21 %, спрямо средната годишна стойност на общото количество, пуснато на пазара на Съюза през периода 2009 – 2012 г. (Фигура 5.1). Освен ограничението на емисиите, се налагат и определени забрани за пускането на пазара на оборудване, съдържащо парникови газове, попадащи в обхвата на Регламента.



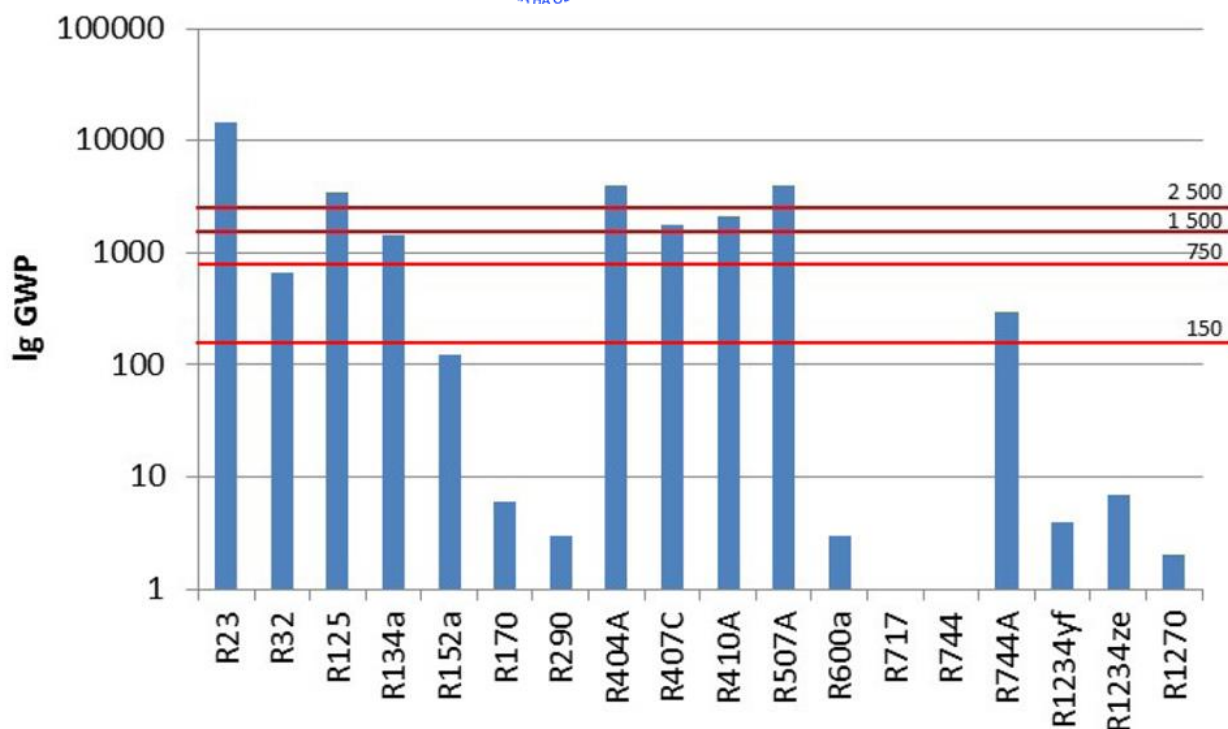
Съгласно РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 517/2014, потенциал за глобално затопляне (ПГЗ) е отношението на потенциала за климатично затопляне на даден парников газ към този на въглеродния диоксид (CO<sub>2</sub>).



Фигура 5.1 График за намаляване на еквивалентните парникови емисии в tonCO<sub>2</sub>-eq/yr, спрямо средната годишна стойност на общото количество, пуснато на пазара на Европейския съюз през периода 2009 – 2012 година



Фигура 5.2 Забрани върху употребата на хладилни агенти с ПГЗ по-голям от регламентирана стойност в конкретни приложения



Фигура 5.3 ПГЗ на някои широко използвани хладилни агенти спрямо въведените забрани

### Въпроси и задачи:

- 1) С колко процента трябва да бъдат намалени еквивалентните парникови емисии в  $\text{tonCO}_2\text{-eq/yr}$  до 2030 година, съгласно РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 517/2014?
- 2) Какво е потенциал за глобално затопляне (ПГЗ).
- 3) В кои хладилни системи е забранена употребата на хладилен агент R404A от 01.01.2020 г?
- 4) Кой от изброените хладилни агенти може да се използва в търговски хладилници и фризьери след 01.01.2022 г: R134a, R290, R404A?
- 5) Може ли R410A да се използва в климатизатори от разделен тип с количество хладилен агент  $< 3 \text{ kg}$  след 01.01.2025 г?



## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Посочва правилно с колко процента трябва да бъдат намалени еквивалентните парникови емисии в tonCO <sub>2</sub> -eq/yr до 2030 година, съгласно РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 517/2014.	ДА 12 НЕ 0		
2.	Дава правилно определение за потенциал за глобално затопляне.	ДА 12 НЕ 0		
3.	Посочва правилно в кои хладилни системи е забранена употребата на хладилен агент R404A от 01.01.2020 г.	ДА 12 НЕ 0		
4.	Посочва правилно кой от изброените хладилни агенти може да се използва в търговски хладилници и фризери след 01.01.2022 г.	ДА 12 НЕ 0		
5.	Отговаря правилно може ли R410A да се използва в климатизатори от разделен тип с количество хладилен агент < 3 kg след 01.01.2025 г.	ДА 12 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:		
Клас:	дата:	подпис:
Преподавател:		
Оценка:		подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение		Срок:





## 6. БЕЗОПАСНОСТ

### В този урок ще научим:

- Кои са основните опасности при работа с хладилни агенти.
- Как се класифицират хладилните агенти според тяхната запалимост и токсичност.
- Какви са най-важните правила при работа със запалими и токсични хладилни агенти.
- Как се извършва оценка на риска при работа с хладилни агенти.

Основните опасности, свързани с работата с хладилни агенти са:

- Запалимост;
- Токсичност;
- Високи налягания.

### 6.1 Класификация по безопасност

Описаните по-долу групи на безопасност са дефинирани в ISO817:2014 и се използват в БДС EN 378-1:2017. Обозначението на групата на безопасност се състои от два елемента: главна буква **A** или **B**, последвана от 1, 2L, 2 или 3.

Буквата **A** или **B** показва степента на токсичност:

- **A** означава по-ниска токсичност (повечето хл. агенти са група A);
- **B** означава по-висока токсичност (R717 е група B).

1, 2L, 2 или 3 показва степента на запалимост:

- 1 – незапалими;
- 2L – слабо запалими;
- 2 – запалими;
- 3 – силно запалими.



Таблица 6.1 показва основните параметри, отнасящи се до безопасността, на някои от най-широко използваните хладилни агенти.

Трябва да се отбележи, че всички алтернативни синтетични и естествени хладилни агенти предизвикват по-високо ниво на опасност в сравнение с конвенционалните.

Таблица 6.1 Основни параметри, отнасящи се до безопасността на най-широко използваните конвенционални и естествени хладилни агенти

Хл. агент	Група на безопасност	LFL [kg/m <sup>3</sup> ]	Температура на самовъзпламеняване, [°C]	PL [kg/m <sup>3</sup> ]	ATEL / ODL [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>HFC</b>					
R134a	A1	-	743	0,25	0,21
R32	A2L	0,307	648	0,061	0,30
<b>HFO</b>					
R1234yf	A2L	0,289	405	0,058	0,47
R1234ze	A2L	0,303	368	0,061	0,28
<b>HC</b>					
R1270	A3	0,047	455	0,008	0,0017
R290	A3	0,038	470	0,008	0,09
R600a	A3	0,043	460	0,011	0,059
<b>Неорганични</b>					
R744	A1	-	-	0,1	0,072
R717	B2L	0,116	630	0,00035	0,00022

- LFL, [kg/m<sup>3</sup>] (Lower Flammability Limit) – долна граница на запалимост, дефинирана съгласно БДС EN 378-1 – показва минималната концентрация на хладилен агент в газо-въздушната смес, при която може да настъпи възпламеняване;



- PL, [kg/m<sup>3</sup>] (Practical Limit) – пределно допустима практическа концентрация, дефинирана съгласно БДС EN 378-1. За хладилните агенти с група на безопасност A1 това е най-високата концентрация в обитаемото помещение, под която не се очакват ефекти възпрепятстващи отвеждането. За запалимите хладилни агенти тази граница е 20 % от LFL;
- ATEL, [kg/m<sup>3</sup>] (Acute Toxicity Exposure Limit) – граница на експозиция за остра токсичност, дефинирана съгласно БДС EN 378-1 – показва концентрацията, над която настъпва неблагоприятен ефект върху здравето, който се дължи на токсичното действие на хладилния агент и е резултат от единична или многократна експозиция в рамките на определен интервал от време (обикновено 24 часа);
- ODL, [kg/m<sup>3</sup>] (Oxygen Deprivation Limit) – граница на кислородна недостатъчност, дефинирана съгласно БДС EN 378-1 – показва концентрацията, над която настъпва неблагоприятен ефект върху здравето, който се дължи на недостатъчна концентрация на кислород в обитаемото помещение и е резултат от единична или многократна експозиция в рамките на определен интервал от време (обикновено 24 часа).

## 6.2 Запалимост

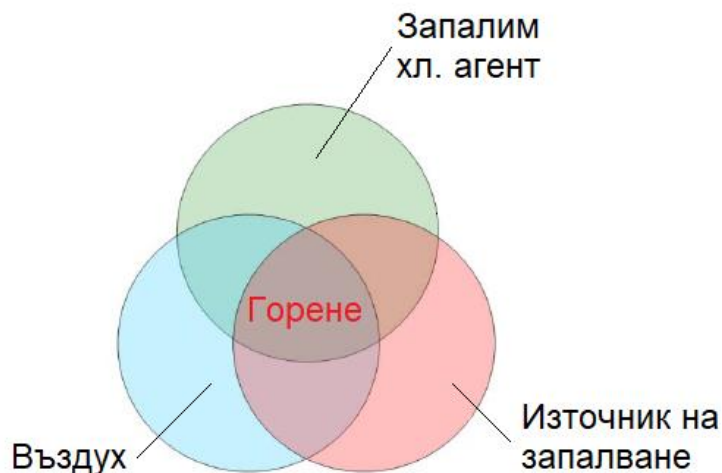
Таблица 6.2 разяснява критериите за класификация на хладилните агенти според тяхната запалимост.

Таблица 6.2 Критерии за класификация на хладилните агенти, според тяхната запалимост

Клас на запалимост	LFL, [% vol]	Специфична топлина на изгаряне [kJ/kg]	Разпространение на пламъка
1, незапалими	Без разпространение на пламък при изпитване при 60 °C и 101,3 kPa		
2L, слабо запалими	> 3,5	< 19 000	Проявява се разпространение на пламък при изпитване при 60 °C и 101,3 kPa; максимална скорост на горене ≤ 10 cm/s при 23 °C и 101,3 kPa
2, запалими	> 3,5	< 19 000	Проявява се разпространение на пламък при изпитване при 60 °C и 101,3 kPa
3, силно запалими	≤ 3,5	≥ 19 000	Проявява се разпространение на пламък при изпитване при 60 °C и 101,3 kPa

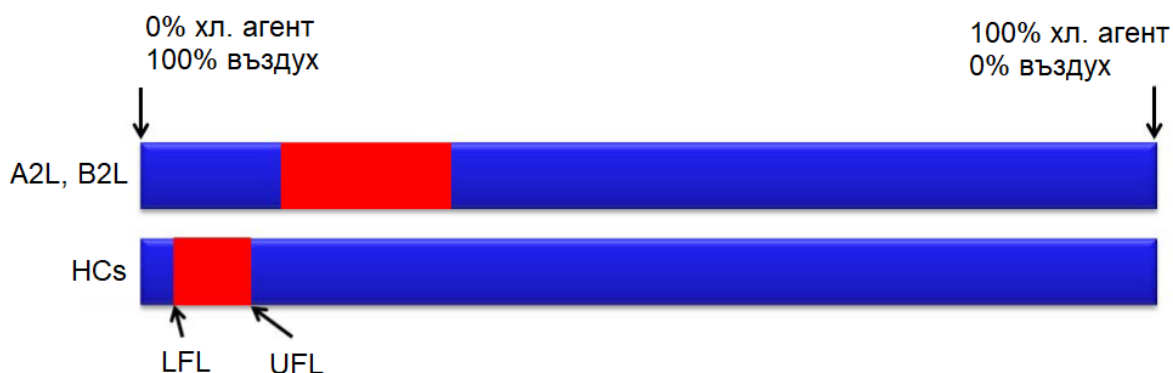


За горенето са необходими три елемента - гориво, кислород и източник на запалване (Фигура 6.1). При запалимите хладилни агенти горене настъпва, ако концентрацията на хладилния агент във въздуха е между долната и горната граница на запалимост и ако е налице източник на запалване.



Фигура 6.1 Необходими елементи за горене

Фигура 6.2 показва диапазона на запалимост на въглеводородите (HC), хладилните агенти от група A2L и R717.



Фигура 6.2 Диапазон на запалимост на въглеводородите (HC), хладилните агенти от група A2L и R717

Откритият пламък, като например газо-пламъчна горелка, кибрит или запалка, може да възпламени всеки от запалимите хладилни агенти.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

Източниците на искра могат да възпламенят хладилните агенти от група А3 (НС) и евентуално хладилните агенти от група 2L. Примери за електрически устройства, представляващи потенциален източник на искра, са:

- превключватели за включване/изключване, например монтирани към вакуумни помпи, машини за извличане на хладилен агент и т.н;
- контактори;
- ключове за осветление;
- стандартни електромеханични термостати;
- стандартни релета и термично-токови защиты;
- стандартни ограничители за налягане (пресостати за високо и ниско налягане, диференциално налягане на маслото);
- стандартни светлинни стартери (баласты);
- стандартни релета за време (например за обезскрежаване) и контролери;
- електронни пропускотърсачи.

Електрическите устройства, които отговарят на EN 60079 част 7 или 15, не са източници на запалване, когато се използват в зона 2, според класификацията на стандарта. Видът на електрическата защита е свързан със зоната. В повечето случаи важат изискванията за зона 2, но ако зоната е различна, може да се изисква използване на компоненти с клас на защита, отговарящ на съответната зона.

### **Основни правила при работа със запалими хладилни агенти:**

- Всички лица, извършващи дейности по хладилни системи, работещи със запалими хладилни агенти, трябва да използват подходящи лични предпазни средства (ЛПС). Това включва ръкавици и предпазни очила;
- Трябва да се осъществява непрекъснато следене на концентрацията на запалими хладилни агенти в работната зона посредством специализиран уред;
- Работната зона трябва да бъде добре вентилирана, без източник на запалване в периметър от 3 m от системата и прилежащото оборудване;



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

- Машината за извличане на хладилен агент и уредът за откриване на пропуски трябва да бъдат одобрени за работа със запалими хладилни агенти;
- Преди разпояване не трябва да има остатъчно количество хладилен агент в системата. След извличане на хладилния агент системата трябва да се продуха с технически чист азот;
- Ако е необходима подмяна на електрически устройства, то те трябва да се подменят с идентични или еквивалентни, които отговарят на същите стандарти.

Европейската директива 2014/34/ЕС относно оборудването и защитните системи, предназначени за използване в потенциално експлозивна атмосфера (обозначаване накратко АТЕХ), се прилага за работни места, където се използват запалими вещества, включително запалими хладилни агенти. Изброените по-горе правила се основават на директивата, но за по-подробна информация трябва да се прави справка със самата директива.

### 6.3 Задушаване/токсичност

Всички хладилни агенти са асфиксанти, тъй като изместват въздуха. Вдишването на парите на хладилния агент в достатъчни количества може да причини задушаване, замаяност, летаргия или неравномерен сърдечен ритъм. Рискът от задушаване е висок, ако се освободи голямо количество хладилен агент в затворен обем като хладилна камера или техническо помещение.

Пример за токсичен хладилен агент е амонякът (R717). Той има много ниска практическа граница –  $0,00035 \text{ kg/m}^3$ .

- При вдишване при ниски концентрации причинява дразнене, а при високи концентрации химическо изгаряне на лигавицата на дихателните органи и дори може да предизвика отказ на дихателната система. Предимство на амоняка е, че поради острата му миризма наличието му във въздуха се усеща при концентрация от 5 ppm – много по-ниска от застрашаващата здравето концентрация от минимум 400 ppm;
- При директен контакт с кожата и очите при ниски концентрации причинява силно дразнене, а при високи концентрации химическо изгаряне.

При горене хидрофлуоровъглеродите (HFC) и хидрофлуороолефините (HFO) образуват токсични съединения. Когато хладилен агент с група на безопасност A2L като R32 постъпи в контакт с открит



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

пламък, се образува флуороводород, който при контакт с влага (например във въздуха или в устата) образува флуороводородна киселина. Ефектите от вдишването или контактът с тази киселина са много тежки и обикновено изискват болнично лечение. Такава опасност съществува при работа с всички хидрофлуоровъглеродороди, но хладилните агенти с група на безопасност A2L и хидрофлуороолефините създават по-голям риск, тъй като се запалват от открит пламък, като например от газова горелка.

Директният контакт с кожата, на който и да е хладилен агент в течна фаза може да причини сериозни увреждания вследствие на измръзване.

### **Основни правила при работа с токсични хладилни агенти:**

- Всички лица, извършващи дейности по хладилни системи, работещи с токсични хладилни агенти, трябва да използват подходящи лични предпазни средства (ЛПС). Това включва ръкавици и предпазни очила;
- При необходимост трябва да се използва дихателна маска, кислородна бутилка и специализирано предпазно облекло;
- Трябва да се осъществява непрекъснато следене на концентрацията на токсични хладилни агенти в работната зона, посредством специализиран уред;
- При задействане на сигнализацията за повишена концентрация на токсичен хладилен агент не трябва да се влиза в съответната зона;
- Работната зона трябва да бъде добре вентилирана.

## **6.4 Високи налягания**

Пример за хладилен агент, работещ при значително по-високи налягания, е въглеродният диоксид (CO<sub>2</sub>). В транскритичните системи налягането в надкритичния охладител (топлообменникът, чрез който се отдава топлина на охлаждащата среда) може да достигне и надвиши 90 bar.

Налягането в нова бутилка с CO<sub>2</sub> при околна температура от 40 °C е приблизително 100 bar.

Задължително изискване при работа с CO<sub>2</sub> е всички инструменти, уреди и приспособления, като манометрични блокове, маркучи, спирателни вентили и други, да отговарят на високото налягане.

Друга опасност е повишаването на налягането вследствие на изолиране на течен хладилен агент в затворен участък от системата, като например



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

тръбопровод. При въглеродния диоксид 1 К повишаване на температурата води до повишаване на налягането с приблизително 10 bar.

## 6.5 Оценка на риска

Оценка на риска е методът, чрез който се определя колко е вероятно настъпването на вреда при извършване на определена дейност (т.е. нивото на риск) и какви мерки да бъдат предприети с цел ограничаване на риска. Рискът е част от ежедневието и не се очаква да бъде напълно елиминиран. Важно е обаче познаването на основните рискове и на това как да бъдат управлявани отговорно.

Оценката на риска се извършва в четири етапа:

1. Идентифициране на опасностите.
2. Идентифициране на лицето, което е обект на опасност – обикновено това е техникът, който извършва съответната дейност, но може да бъде помощен персонал или други лица.
3. Оценка на вероятността от настъпване на вреда и тежестта на потенциалните неблагоприятни последствия, като се вземат предвид мерките за ограничаване на риска.
4. Описване на направените изводи по точки от 1 до 3.

Ако рискът е оценен като висок, трябва да се предприемат мерки за неговото ограничаване. Например, ако се извършва работа върху уред със запалим хладилен агент, преместването на уреда навън може да намали риска.





## Въпроси и задачи:

- 1) Коя е групата на безопасност на R32?
- 2) Кои са необходимите елементи за процеса на горене?
- 3) Хладилни агенти от кои групи на безопасност могат да се възпламенят от източник на искра?
- 4) Какви технически операции трябва да бъдат извършени, преди да се спояват елементи в система, работеща с R600a (изобутан)?
- 5) На какви условия трябва да отговаря работната зона при работа с R290 (пропан)?
- 6) Необходими ли са специални предпазни средства при работа с R717 (амоняк)? Защо?
- 7) Допустимо ли е спояването в помещение, в което има концентрация на R1234yf? Защо?
- 8) Кои са рисковете при работа с R744 (въглероден диоксид)?
- 9) Допустимо ли е изолирането на течен R744 в затворен посредством вентили участък от течностен тръбопровод? Защо?
- 10) Кой е критерият, на база на който се определя какви мерки за безопасност трябва да бъдат взети при работа с даден хладилен агент?



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Посочва правилно групата на безопасност на R32.	ДА 6 НЕ 0		
2.	Посочва правилно необходимите елементи за процеса на горене.	ДА 6 НЕ 0		
3.	Посочва правилно хладилни агенти от кои групи на безопасност могат да се възпламенят от източник на искра.	ДА 6 НЕ 0		
4.	Посочва правилно техническите операции, които трябва да бъдат извършени, преди да се спояват елементи в система, работеща с R600a (изобутан).	ДА 6 НЕ 0		
5.	Посочва правилно условията, на които трябва да отговаря работната зона при работа с R290.	ДА 6 НЕ 0		
6.	Отговаря правилно, необходими ли са специални предпазни средства при работа с R717 (амоняк). Аргументира правилно отговора.	ДА 6 НЕ 0		
7.	Отговаря правилно, допустимо ли е спояването в помещение, в което има концентрация на R1234yf. Аргументира правилно отговора.	ДА 6 НЕ 0		
8.	Посочва правилно рисковете при работа с R744.	ДА 6 НЕ 0		
9.	Отговаря правилно, допустимо ли е изолирането на течен R744 в затворен посредством вентили участък от течностен тръбопровод. Аргументира правилно отговора.	ДА 6 НЕ 0		
10.	Посочва правилно критерия, на база на който се определя какви мерки за безопасност трябва да бъдат взети при работа с даден хладилен агент.	ДА 6 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:			
Клас:	дата:	подпис:	
Преподавател:			
Оценка:			подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение			Срок:



## 7. КОНВЕНЦИОНАЛНИ ХЛАДИЛНИ АГЕНТИ

### В този урок ще научим:

- Кои са най-широко използваните конвенционални хладилни агенти и техните приложения.
- Кои са основните предимства и недостатъци на конвенционалните хладилни агенти.

### 7.1 R134a

R134a се използва в хладилни системи, работещи при средни (от  $-15$  до  $0$  °C) и високи (над  $0$  °C) температури на изпарение. Те включват търговски хладилни агрегати с малка мощност, водоохлаждащи агрегати с винтови и турбокомпресори, термopомпи за загряване на вода за битови нужди, термopомпи за оползотворяване на отпадна топлина и в горното стъпало на централизирани каскадни системи и каскадни термopомпи.

Предимствата на R134a са относително висока ефективност при средни и високи температури на изпарение и възможността за работа при високи температури на кондензация. Недостатъците са, че изисква по-голям геометричен обем дебит на компресора, по-големи диаметри на тръбопроводите и топлообменни апарати с по-голяма повърхност.

На Фигура 7.1 е показан водоохлаждащ агрегат с турбокомпресор с магнитна левитация на вала (безмаслен компресор), работещ с R134a. Предимството на този вид водоохлаждащи агрегати е, че осигуряват висок коефициент на преобразуване.



Фигура 7.1 Водоохлаждащ агрегат с турбокомпресор, работещ с R134a  
(източник: Danfoss – [www.danfoss.com](http://www.danfoss.com))

На Фигура 7.2 е показан характерен пример за ефективно приложение на R134a – термopомпа вода-вода с номинална мощност 120 kW, служеща за оползотворяване на отпадна топлина. Машината може да работи при температури на изпарение до 40 °C и температури на кондензация до 85 °C. Благодарение на това е възможно оползотворяване на топлина при температури на източника до 50 °C и загряване на вода до 85 °C, като термopомпата осигурява коефициент на преобразуване (COP) до 6,95.



Фигура 7.2 Термopомпа вода-вода, работеща с R134a



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## 7.2 R404A

R404A е смес от R125 (44 %), R134a (4 %) и R143a (52 %). До въвеждане на ограниченията и забраните на РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 517/2014, R404A се използва като основен хладилен агент в централизираните търговски хладилни системи и в търговските хладилни агрегати, в които се налага като заместител на R22.

R404A изисква относително малък геометричен обемен дебит на компресора и в нискотемпературните приложения осигурява по-висок коефициент на преобразуване в сравнение с голяма част от хидрофлуоровъглеродите (HFC). Осигурява възможност за работа при едностепенно съгъстяване при големи разлики между двете температурни нива (температурите на изпарение и кондензация).

## 7.3 R407C

R407C е зеотропна смес, включваща R32 (23 %), R125 (25 %) и R134a (52 %). Притежава сходни свойства с тези на R22 и първи навлиза като негов заместител в климатизаторите от разделен тип и термopомпените системи. Характеризира се с относително голям температурен глайд – 6,27 К при 0 °С.

## 7.4 R410A

R410A постепенно заменя почти изцяло R407C и е основен хладилен агент в климатизаторите от разделен тип, термopомпените системи и системите с променлив дебит на хладилния агент (VRV/VRF).

Предимствата на R410A са, че осигурява по-висок коефициент на преобразуване, изисква по-малък геометричен обемен дебит на компресора и тръбопроводи с по-малки диаметри в сравнение с R134a и R407C.

На Фигура 7.3 и Фигура 7.4 са представени примери за термopомпи, работещи с R410A.

Основен недостатък на описаните дотук хладилни агенти е техният висок потенциал за глобално затопляне (ПГЗ). С приемането на РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 517/2014 Европейският съюз въведе в действие мерки за драстично ограничаване на емисиите на флуорсъдържащи парникови газове, които ще доведат и до поэтапна замяна на конвенционалните хладилни агенти. Ето защо от съществена важност е правилното и бързо адаптиране към приложение на системи, използващи алтернативни хладилни агенти.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ



Фигура 7.3 Инверторна термопомпа въздух-вода, работеща с R410A



Фигура 7.4 Инверторна термопомпа вода-вода, работеща с R410A



## Въпроси и задачи:

- 1) Подходящ ли е R134a при температура на изпарение  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
- 2) Кое свойство на R134a позволява да се използва при високи температури на кондензация?
- 3) Кое характерно свойство отличава R407C от R134a и R410A?
- 4) Кои са свойствата на R404A, които го правят подходящ за работа в нискотемпературни хладилни системи?
- 5) Кои са предимствата на R410A пред R134a и R407C?

## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Отговаря правилно, подходящ ли е R134a при температура на изпарение $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .	ДА 12 НЕ 0		
2.	Посочва правилно кое свойство на R134a позволява да се използва при високи температури на кондензация.	ДА 12 НЕ 0		
3.	Посочва правилно кое характерно свойство отличава R407C от R134a и R410A.	ДА 12 НЕ 0		
4.	Посочва правилно свойствата на R404A, които го правят подходящ за работа в нискотемпературни хладилни системи.	ДА 12 НЕ 0		
5.	Посочва правилно предимствата на R410A пред R134a и R407C.	ДА 12 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е: 
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:		
Клас:	дата:	подпис:
Преподавател:		
Оценка:		подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение		Срок:



## 8. АЛТЕРНАТИВНИ СИНТЕТИЧНИ ХЛАДИЛНИ АГЕНТИ

### В този урок ще научим:

- Кои са основните синтетични алтернативи на конвенционалните хладилни агенти.
- Какви са най-важните свойства на алтернативните синтетични хладилни агенти.

### 8.1 Синтетични алтернативи на R134a

В Таблица 8.1 са представени основните свойства на R134a и на неговите най-важни синтетични алтернативи.

Таблица 8.1 Основни свойства на R134a и неговите най-важни синтетични алтернативи

Хл. агент	Съст.	NBP [°C]	tc [°C]	p [bar]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Cp [kJ/kg.K]	Cp/Cv [-]	g [kJ/kg]	qv [kJ/m <sup>3</sup> ]	κ [mW/m.K]	ν [cm <sup>2</sup> /s]	GWP [-]	Гр. на без. [-]
R134a	x = 0	-26,07	101,06	2,93	1,295	1,34	1,53	198,60	2,866	92,01	0,002059	1430	A1
	x = 1				14,43	0,90	1,18				11,51		
R1224yd(Z)	x = 0	14,62	155,64	0,56	1,428	1,08	1,41	175,42	660	86,16	0,002800	<1	A1
	x = 1				3,76	0,73	1,10				9,14		
R1233zd(E)	x = 0	18,26	166,45	0,48	1,321	1,18	1,42	203,60	578	90,39	0,002809	1	A1
	x = 1				2,8	0,77	1,10				8,60		
R1234yf	x = 0	-29,49	94,70	3,16	1,176	1,29	1,49	163,29	2,882	71,47	0,001741	<1	A2L
	x = 1				17,65	0,92	1,15				11,63		
R1234ze(E)	x = 0	-18,97	109,36	2,17	1,240	1,32	1,48	184,18	2,157	83,06	0,002118	<1	A2L
	x = 1				11,71	0,88	1,13				11,59		
R1234ze(Z)	x = 0	9,73	150,12	0,68	1,288	1,21	1,43	220,40	785	91,93	0,002627	<1	A2L
	x = 1				3,56	0,81	1,13				10,74		
R1336mzz(Z)	x = 0	33,45	171,35	0,25	1,427,8	1,17	1,36	179,46	327	77,52	0,003466	2	A1
	x = 1				1,82	0,80	1,08				9,65		

\* Свойствата в таблицата са дадени при температура на насищане 0 °C (източник – NIST REFPROP 10);

NBP – температура на кипене при стандартно атмосферно налягане;

x – паросъдържание (x = 0 – наситена течност / x = 1 – наситени пари);





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

$t_c$  – критична температура;

$p$  – налягане на насищане;

$\rho$  – плътност;

$C_p$  – специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане;

$C_p/C_v$  – отношение на специфичния топлинен капацитет при постоянно налягане към този при постоянен обем (показател на адиабатата);

$r$  – латентна топлина на фазов преход;

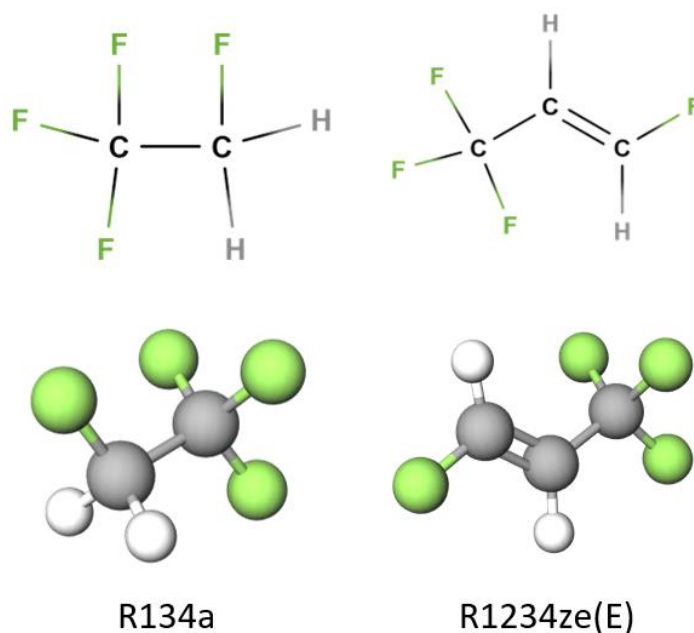
$q_v$  – специфична обемна студопроизводителност;

$k$  – коефициент на топлопроводност;

$\nu$  – кинематичен вискозитет;

GWP – потенциал за глобално затопляне.

Хидрофлуороолефините са ненаситени хидрофлуоровъглеродороди с двойна молекулна връзка между два от въглеродните атоми. Именно тази двойна връзка е отличителната им черта, която обуславя краткия им атмосферен живот и съответно ниския им ПГЗ. Фигура 8.1 показва сравнение между структурните формули на R134a и R1234ze(E).



Фигура 8.1 Двумерна и триизмерна структурни формули на R134a (отляво) и R1234ze(E) (отдясно) (генерирани чрез: <https://molview.org/>)



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

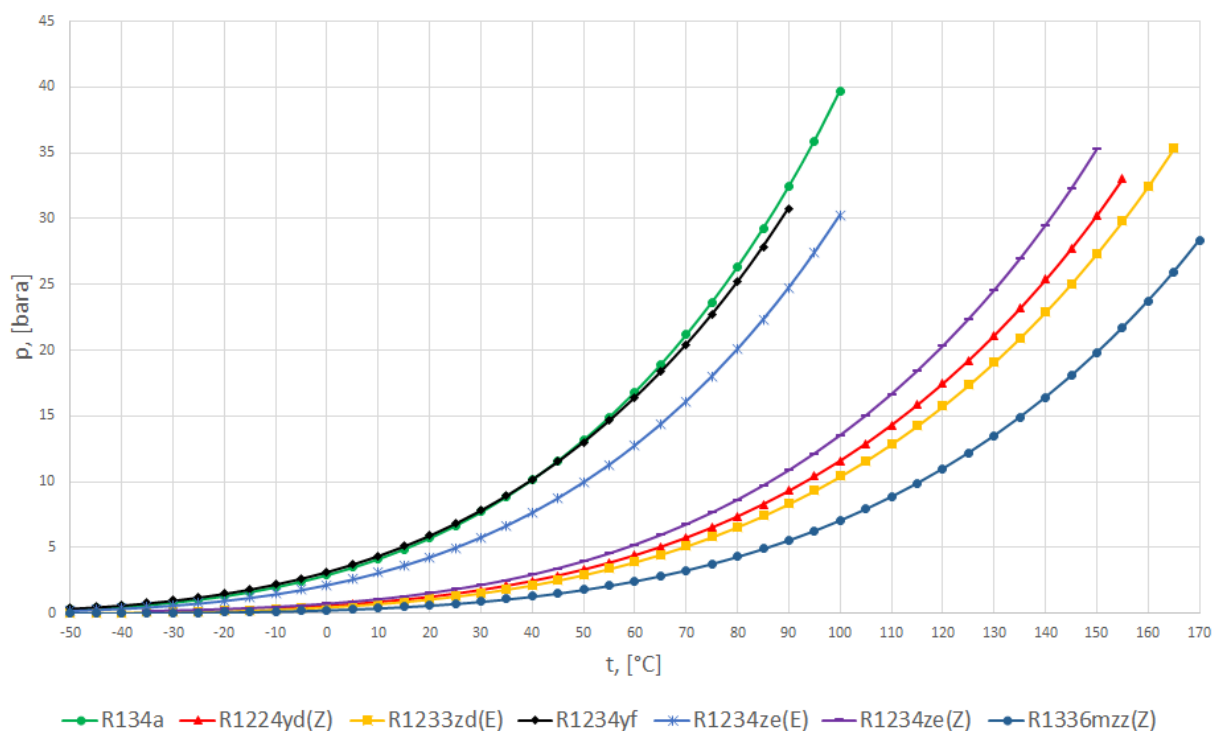
Някои от основните HFO-хладилни агенти са R1224yd(Z), R1234yf, R1233zd(E), R1234ze(E), R1234ze(Z) и R1336mzz(Z).

Най-разпространени са R1234yf и R1234ze(E). Първият навлиза като масов заместител на R134a в автомобилните климатични системи, които са значителен източник на директни емисии. Вторият се използва във водоохлаждащи агрегати.

Изброените по-горе хладилни агенти влизат заедно с R134a, R32 и R152a в смеси като R450A, R456A, R513A, R516A и други.

На пазара се появяват и нови смеси като R515B (91.1% R1234ze + 8.9% R227ea), който е незапалим (група на безопасност A1) с ПГЗ приблизително 300 и без температурен глайд (азеотропна смес). Той е предназначен да замени R134a в среднотемпературни хладилни и термopомпени системи и водоохлаждащи агрегати.

Фигура 8.2 показва графика с наляганията на насищане като функция от температурата на R134a и на неговите основни синтетични алтернативи.



Фигура 8.2 Налягане на насищане като функция от температурата на R134a и на неговите основни синтетични алтернативи.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

Трябва да се отбележи, че с изключение на R1234yf и R1234ze(E) останалите хладилни агенти от групата имат значително по-ниско налягане на насищане от R134a. Тяхната нормална температура на насищане е над 5 °С, което прави самостоятелното им приложение в диапазона от средни температури на изпарение невъзможно.

Високият специфичен обем, свързан с ниското налягане на насищане, и съизмеримата с тази на R134a латентна топлина на фазов преход означават много малка специфична обемна студопроизводителност. Това налага използване на компресори с голям геометричен обемен дебит. Останалите термодинамични и преносни свойства са близки до тези на R134a.

Изброените факти показват, че тези съединения са най-вече кандидати за компоненти в смеси с нисък ПГЗ.

Хидрофлуороолефините, които намират самостоятелно приложение в практиката, са класифицирани с група на безопасност A2L – слабо запалими. Тези съединения се възпламеняват при относително висока околна температура (над 30 °С за R1234ze), имат малка специфична топлина на горене (около пет пъти по-ниска от тази на пропана) и ниска скорост на горене. Въпреки това изследванията показват, че при определени условия наличието им създава предпоставка за възникване и може да бъде ключов фактор при развитието на пожар.

Важен въпрос, отнасящ се до безопасността, е фактът, че при наличие на вода хидрофлуороолефините образуват трифлуороцетна (TFA), флуороводородна (HF) и други киселини, които представляват опасност за здравето на човека и за околната среда.

## 8.2 Синтетични алтернативи на R404A

Тъй като наличните хидрофлуороолефини (HFO) с нисък ПГЗ имат значително по-малка специфична обемна студопроизводителност от R404A, разработените синтетични алтернативи трябва да съдържат относително голямо процентно количество хидрофлуоровъглеродороди (HFC) с висока специфична обемна студопроизводителност, като списъкът с възможни кандидати е значително ограничен. Основният хладилен агент, изпълняващ тази функция, е R32 с ПГЗ – 675.

Някои от най-широко използваните синтетични алтернативи на R404A са R448A, R449A, R452A, R454A, R454C, R455A, R457A, R457B, R465A и R468A.

Общото между описаните хладилни агенти е, че са зеотропни смеси с голям температурен глайд, осигуряват коефициент на преобразуване близък



или по-висок от този на R404A и изискват подобен геометричен обемен дебит на компресора. Част от посочените хладилни агенти работят при значително по-високи температури на нагнетяване от R404A, което ограничава използването им при едностепенно съгъстяване или изисква предприемане на специални мерки.

### 8.3 Синтетични алтернативи на R410A

В Таблица 8.2 са представени основните свойства на R410A и на неговите най-важни синтетични алтернативи.

Таблица 8.2 Основни свойства на R410A и неговите най-важни синтетични алтернативи

Хл. агент	Съст.	NBP [°C]	t <sub>c</sub> [°C]	p [bar]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	C <sub>p</sub> [kJ/kg.K]	C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub> [-]	г [kJ/kg]	q <sub>v</sub> [kJ/m <sup>3</sup> ]	κ [mW/m.K]	ν [cm <sup>2</sup> /s]	GWP [-]	Гр. на без.
R410A	x = 0	-51,62	71,34	7,98	1,170	0,77	1,72	221,31	6,768	103,24	0,001380	2100	A1
	x = 1				30,58		1,37				12,32		
R32	x = 0	-51,65	78,11	8,13	1,055	0,79	1,86	315,30	6,965	145,25	0,001426	704	A2L
	x = 1				22,09		1,47				11,74		
R466A	x = 0	-54,02	73,13	8,58	1,417	0,60	1,78	194,49	7,120	121,56	0,001322	733	A1
	x = 1				36,61		1,42				11,21		
R470A	x = 0	-62,67	88,70	4,52	1,202	0,80	1,65	203,74	3,771	97,48	0,001594	909	A1
	x = 1				18,51		1,21				12,45		
R452B	x = 0	-50,67	77,10	7,40	1,092	0,80	1,76	256,61	6,281	119,37	0,001406	710	A2L
	x = 1				24,48		1,38				11,97		
R454B	x = 0	-50,50	78,10	7,29	1,081,5	0,81	1,76	260,92	6,191	121,50	0,001415	490	A2L
	x = 1				23,73		1,38				11,92		

\* Свойствата в таблицата са дадени при температура на насищане 0 °C (източник – NIST REFPROP 10);

NBP – температура на кипене при стандартно атмосферно налягане;

x – паросъдържание (x = 0 – наситена течност / x = 1 – наситени пари);

t<sub>c</sub> – критична температура;

p – налягане на насищане;

ρ – ПЛЪТНОСТ;

C<sub>p</sub> – специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане;

C<sub>p</sub>/C<sub>v</sub> – отношение на специфичния топлинен капацитет при постоянно налягане към този при постоянен обем (показател на адиабатата);

г – латентна топлина на фазов преход;

q<sub>v</sub> – специфична обемна студопроизводителност;



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

$\kappa$  – коефициент на топлопроводност;

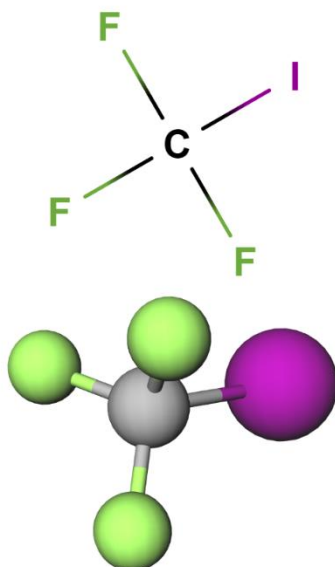
$\nu$  – кинематичен вискозитет;

GWP – потенциал за глобално затопляне.

Първият хладилен агент, предложен като алтернатива на R410A, е R32. Причините за това са следните: R410A е смес от R32 и R125 в 50/50 % масово съотношение. R32 е всъщност компонентът, който изпълнява функциите на работния флуид в хладилната система. R125 е добавен единствено, за да потисне горимостта на R32. От технологична и финансова гледна точка е относително лесно за производителите на оборудване да адаптират компонентите за работа с R32.

Както беше отбелязано в точка 8.2, именно R32 и R125 са основни компоненти в множество от новите синтетични алтернативи в комбинация с представители на хидрофлуороолефините (HFO).

Понастоящем най-големи очаквания има към R466A. Той е смес от R32 (49 %), R125 (11,5 %) и  $\text{CF}_3\text{I}$  (39,5 %), който има много ниско ПГЗ от 0,4 и служи за потискане на горенето.



Фигура 8.3 Двумерна и триизмерна структурни формули на  $\text{CF}_3\text{I}$  – трифлуоройодометан (генерирани чрез: <https://molview.org/>)

R470A е смес от шест познати компонента – R744 ( $\text{CO}_2$ ) (10 %), компонентите на R410A – R32 (17 %) и R125 (19 %), R134a (7 %), R1234ze(E) (44 %) и R227ea (3 %). R470A е разработен основно за директна замяна на R410A в съществуващи системи, но може да се използва и в ново оборудване.

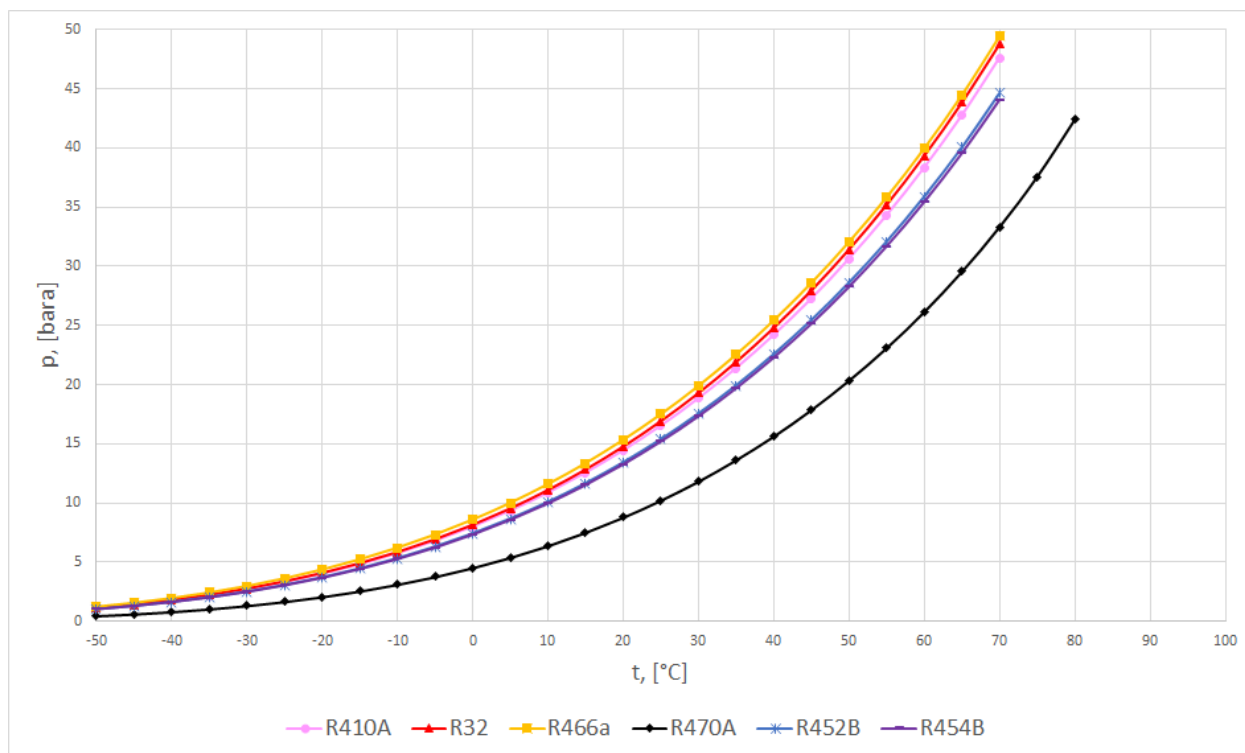


Други проучвани алтернативи са R452B – R32(67,0 %), R125 (7,0 %) и R1234yf (26,0 %) и R454B – R32 (68,9 %) и R1234yf (31,1 %).

Разработени са и смеси като D2Y60 – R32 (40 %) и R1234yf (60 %) с ПГЗ 272 и L41a – R32 (73 %), R1234yf (15 %) и R1234ze (12 %) с ПГЗ 494, които са потенциални алтернативи на R410A в термopомпи въздух-вода, но до момента не срещат интерес от страна на производителите на оборудване.

Изпитват се и нови негорими алтернативи с нисък ПГЗ като HDR147 и HDR139, относно които все още не са налични данни.

Фигура 8.4 показва графика с наляганията на насищане като функция от температурата на R134a и на неговите основни синтетични алтернативи.



Фигура 8.4 Налягане на насищане като функция от температурата на R410A и на неговите основни синтетични алтернативи.

Както се вижда от стойностите в Таблица 8.2, тъй като включват R32 и R125, синтетичните алтернативи на R410A имат сходни термодинамични и преносни свойства. Показателна е и графиката на Фигура 8.4, която демонстрира, че разглежданите хладилни агенти имат криви на насищане много близки до тези на R410A.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

Според изследванията R466A осигурява еквивалентни и дори по-високи хладилна и топлинна мощност и коефициент на преобразуване от R410A.

Аналогични са резултатите и при останалите потенциални кандидати.

R32 е класифициран с група на безопасност A2L – слабо запалим. Въпреки че е допустим в климатизатори и моноблок термопомпи, R32 не може да се използва в разклонени системи, съдържащи голямо количество хладилен агент.

По аналогичен начин стои въпросът с R452B и R454B, които също са с група на безопасност A2L.

Потенциал за по-широко приложение имат R466A и R470A, които са негорими.

### Въпроси и задачи:

- 1) На какво се дължи ниският потенциал за глобално затопляне на хидрофлуороолефините (HFO)?
- 2) Кое свойство на хидрофлуороолефините изисква използването на компресори с голям работен обем за дадена хладилна мощност?
- 3) Основен компонент на кой конвенционален хладилен агент е R32?
- 4) Каква е функцията на R125 в смесите, в които участва?
- 5) Кое свойство на R32 не позволява използването му в системи с променлив дебит на хладилния агент (VRV/VRF)?



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Посочва правилно, на какво се дължи ниският потенциал за глобално затопляне на хидрофлуороолефините.	ДА 12 НЕ 0		
2.	Посочва правилно кое свойство на хидрофлуороолефините изисква използването на компресори с голям работен обем за дадена хладилна мощност.	ДА 12 НЕ 0		
3.	Посочва правилно, основен компонент на кой конвенционален хладилен агент е R32.	ДА 12 НЕ 0		
4.	Обяснява правилно каква е функцията на R125 в смесите, в които участва.	ДА 12 НЕ 0		
5.	Посочва правилно кое свойство на R32 не позволява използването му в системи с променлив дебит на хладилния агент (VRV/VRF).	ДА 12 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:			
Клас:	дата:	подпис:	
Преподавател:			
Оценка:			подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение			Срок:





## 9. ЕСТЕСТВЕНИ ХЛАДИЛНИ АГЕНТИ

### В този урок ще научим:

- Кои са основните естествени хладилни агенти и техните приложения.
- Какви са отличителните свойства на естествените хладилни агенти.

Поради своите отлични термодинамични и преносни свойства, екологичност, достъпност и ниска цена, естествените хладилни агенти започнаха да навлизат все по-широко в множество приложения и се разглеждат като основна дългосрочна алтернатива на конвенционалните.

Таблица 9.1 представя основните свойства на някои от най-широко използваните конвенционални и естествени хладилни агенти.

Таблица 9.1 Основни свойства на най-широко използваните конвенционални и естествени хладилни агенти

Хл. агент	Съст.	NBP [°C]	tc [°C]	p [bar]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Cp [kJ/kg.K]	Cp/Cv [-]	г [kJ/kg]	qv [kJ/m <sup>3</sup> ]	κ [mW/m.K]	ν [cm <sup>2</sup> /s]	GWP [-]	Гр. на без. [-]
<b>НFC</b>													
R134a	x = 0	-26,07	101,06	2,93	1,295	1,34	1,53	198,60	2,866	92,01	0,002059	1430	A1
	x = 1				14,43	0,90	1,18						
R404A	x = 0	-45,47	72,12	6,10	1,150	1,39	1,57	165,82	5,058	72,78	0,001559	3922	A1
	x = 1			6,00	30,5	1,00	1,24						
R410A	x = 0	-51,44	71,34	8,00	1,170	1,52	1,72	221,31	6,768	103,24	0,001380	2088	A1
	x = 1	-51,36		7,98	30,58	1,14	1,37						
<b>НС</b>													
R290	x = 0	-42,13	96,74	4,74	528,6	2,49	1,59	374,87	3,880	105,97	0,002380	3	A3
	x = 1			10,35	1,74	1,22							
R600a	x = 0	-11,75	134,66	1,57	580,6	2,28	1,44	354,34	1,508	98,63	0,003420	3	A3
	x = 1			4,26	1,62	1,13							
<b>Неорганични</b>													
R744	x = 0	-56,56*	30,98	34,85	927,4	2,54	2,69	230,89	22,546	109,15	0,001083	1	A1
	x = 1				97,65	1,86	2,14						
R717	x = 0	-33,32	132,41	4,29	638,6	4,61	1,63	1,261,80	4,366	522,57	0,002581	0	B2L
	x = 1			3,46	2,70	1,40							

\* Налягането в тройната точка на въглеродния диоксид е 5,18 бара;

\*\* Свойствата в таблицата са дадени при температура на насищане 0 °C (източник – NIST REFPROP 10);



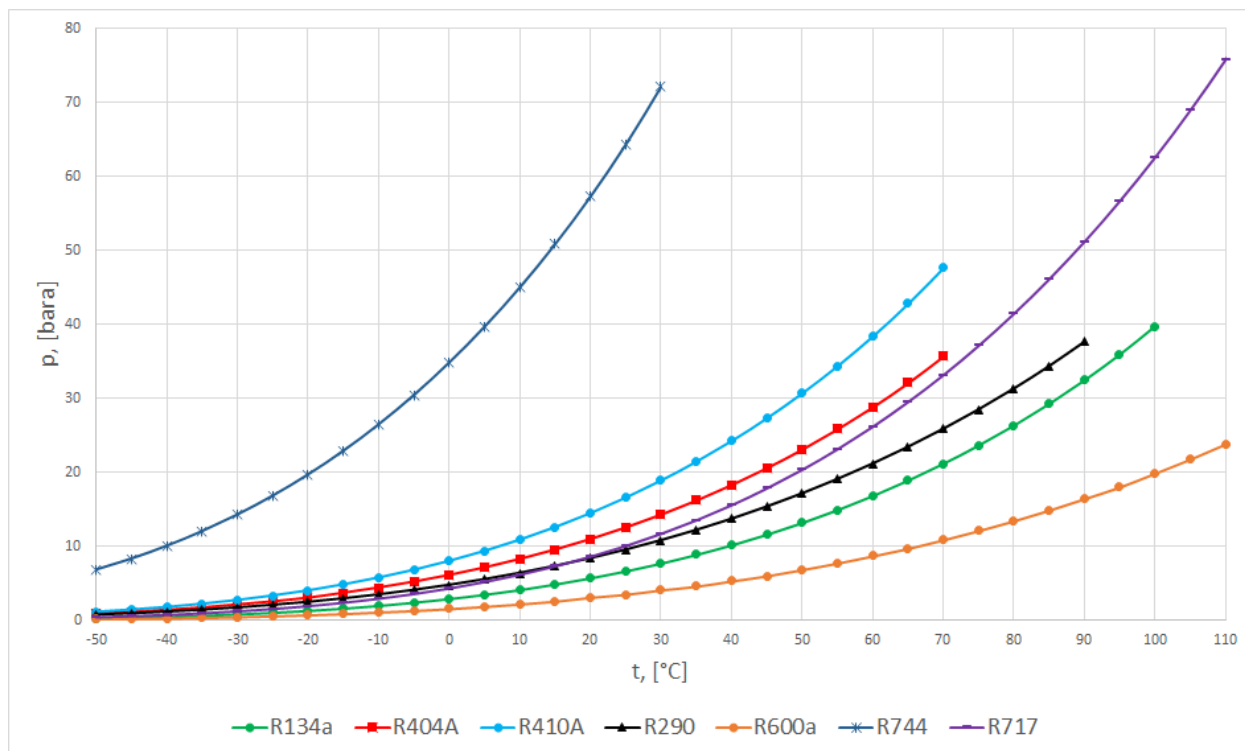
ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

$NBP$  – температура на кипене при стандартно атмосферно налягане;  
 $x$  – паросъдържание ( $x = 0$  – наситена течност /  $x = 1$  – наситени пари);  
 $t_c$  – критична температура;  
 $p$  – налягане на насищане;  
 $\rho$  – плътност;  
 $C_p$  – специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане;  
 $C_p/C_v$  – отношение на специфичния топлинен капацитет при постоянно налягане към този при постоянен обем (показател на адиабатата);  
 $g$  – латентна топлина на фазов преход;  
 $q_v$  – специфична обемна студопроизводителност;  
 $\kappa$  – коефициент на топлопроводност;  
 $\nu$  – кинематичен вискозитет;  
 $GWP$  – потенциал за глобално затопляне.

На Фигура 9.1 е представено налягането на насищане като функция от температурата на някои от най-широко използваните конвенционални и естествени хладилни агенти.





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

Фигура 9.1 Налягане на насищане като функция от температурата на някои от най-широко използваните конвенционални и естествени хладилни агенти

## 9.1 R290 (пропан)

Пропанът (R290) е хладилен агент от групата на въглеродородите с близък до нула потенциал за глобално затопляне (ПГЗ) - 3.

Кривите на насищане, представени на Фигура 9.1, показват, че работният диапазон на пропана е сходен с този на конвенционалните хладилни агенти.

Високата латентна топлина на фазов преход на пропана означава висока специфична масова студопроизводителност и съответно по-малък масов дебит на хладилния агент. Въпреки това поради относително ниското му налягане на насищане, специфичната обемна студопроизводителност на пропана не се различава съществено от тази на конвенционалните хладилни агенти.

Малкото отношение на сгъстяване е предпоставка за по-високи обемна и изоентропна ефективност на компресорите, работещи с пропан. По-ниската температура на нагнетяване, дължаща се на малкото отношение на сгъстяване и на ниския показател на политропата, осигурява по-широк работен диапазон на хладилните компресори в сравнение с този при R410A.

Високият коефициент на топлопроводност и относително ниският кинематичен вискозитет определят интензивния топлообмен, който позволява постигане на по-малки температурни разлики в топлообменните апарати.

Поради благоприятните му термодинамични и преносни свойства, разгледани дотук, системите, работещи с пропан, осигуряват по-широк работен диапазон и по-висок коефициент на преобразуване в сравнение с тези, работещи с R134a, R404A и R410A.

Характерно за пропана е, че използването на вътрешен топлообменник води до увеличаване на коефициента на преобразуване, при условие че падът на налягане в апарата от страната на прегретите пари е малък.

Основният недостатък на пропана е, че при обемни концентрации във въздуха между 2,1 и 10,1 % е запалим и избухлив, като притежава висока специфична топлина на горене. В съответствие с посочените факти групата на безопасност на пропана е A3. Това налага ограничения върху максимално допустимите количества хладилен агент в системите, когато са монтирани изцяло или частично в затворени помещения, и изисква стриктното спазване на правилата за безопасност.



Фигура 9.2 Водоохлаждащ агрегат, работещ с R290

## 9.2 R600a (изобутан)

Изобутанът (R600a) е основен хладилен агент в битовите и търговски хладилни уреди с малка мощност.

Предимствата на R600a са високият коефициент на преобразуване, дължащ се на високата му критична температура, и ниското ниво на шум на хладилните компресори, дължащо се на ниското налягане на насищане, респективно на ниските работни налягания. Основният недостатък на R600a е, че въпреки относително голямата латентна топлина на фазов преход, поради ниската плътност на парната фаза, той има малка специфична обемна студопроизводителност. Това изисква използване на компресори с голям геометричен обем дебит и е основната причина приложението на R600a да е ограничено до системи с малка хладилна мощност.

R600a е с група на безопасност – A3 и изисква спазването на правилата за работа с горими хладилни агенти.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

### 9.3 R744 (въглероден диоксид)

Въглеродният диоксид ( $\text{CO}_2$ ) е хладилен агент, притежаващ специфични термодинамични свойства, които използвани правилно му дават съществено предимство пред конвенционалните хладилни агенти в определени приложения. Потенциалът за глобално затопляне (ПГЗ) на  $\text{CO}_2$  по дефиниция е 1 и служи като референция за всички други газове. Таблица 9.1 представя някои от основните свойства на  $\text{CO}_2$ .

Ниската критична температура на  $\text{CO}_2$  означава, че в диапазона от температури на охлаждащата, респективно на загряваната среда, характерен за повечето хладилни и термопомпени системи, процесът на отдаване на топлина протича в надкритичната област, без фазов преход.

$\text{CO}_2$  има значително по-високо налягане на насищане от останалите хладилни агенти. Вследствие на високата си плътност,  $\text{CO}_2$  изисква много по-малък геометричен обем на компресора и много по-малки диаметри на тръбопроводите. Ниското отношение на съгъстяване е съществена предпоставка за високата обемна и изоентропна ефективност на компресорите.

Високият коефициент на топлопроводност и много ниският кинематичен вискозитет осигуряват интензивен топлообмен.

$\text{CO}_2$  е незапалим и нетоксичен, класифициран с група на безопасност А1. По отношение на безопасността трябва да се имат предвид два фактора. Първият е, че както конвенционалните хладилни агенти  $\text{CO}_2$  е асфиксанти (измества кислорода), но за разлика от тях участва директно в дишането, вследствие на което при високи концентрации може да причини хиперкапния (форма на задушаване) дори при наличие на достатъчно кислород във въздуха. Вторият са по-високите работни налягания, които при спазване на съответните правила не водят до повишен риск спрямо конвенционалните системи.

През последните десет години  $\text{CO}_2$  се наложи като основен хладилен агент в централизираните търговски хладилни системи. Фигура 9.3 показва пример за съвременна хладилна централа, работеща с  $\text{CO}_2$ .

Фигура 9.4 и Фигура 9.5 представят разработени, конструирани и произведени в България транскритични термопомпени системи, работещи с  $\text{CO}_2$ . Първата система представлява термопомпа за загряване на вода за битови и технологични нужди. Предимствата на този вид термопомпи са, че осигуряват загряване на вода до  $90\text{ }^\circ\text{C}$  при температури на външния въздух до  $-25\text{ }^\circ\text{C}$  и коефициент на преобразуване (COP) от 2,0 до 5,5 в зависимост от температурите на входящата вода и на източника.



Фигура 9.3 Хладилна централа, работеща с CO<sub>2</sub> (източник: Advansor – [www.advansor.com](http://www.advansor.com))



Фигура 9.4 Транскритична термopомпена система за загряване на вода за битови и технологични цели, работеща с CO<sub>2</sub>

Фигура 9.5 показва система за двустепенна регенерация на топлина, работеща с CO<sub>2</sub>. Този вид термopомпи служат за оползотворяване на

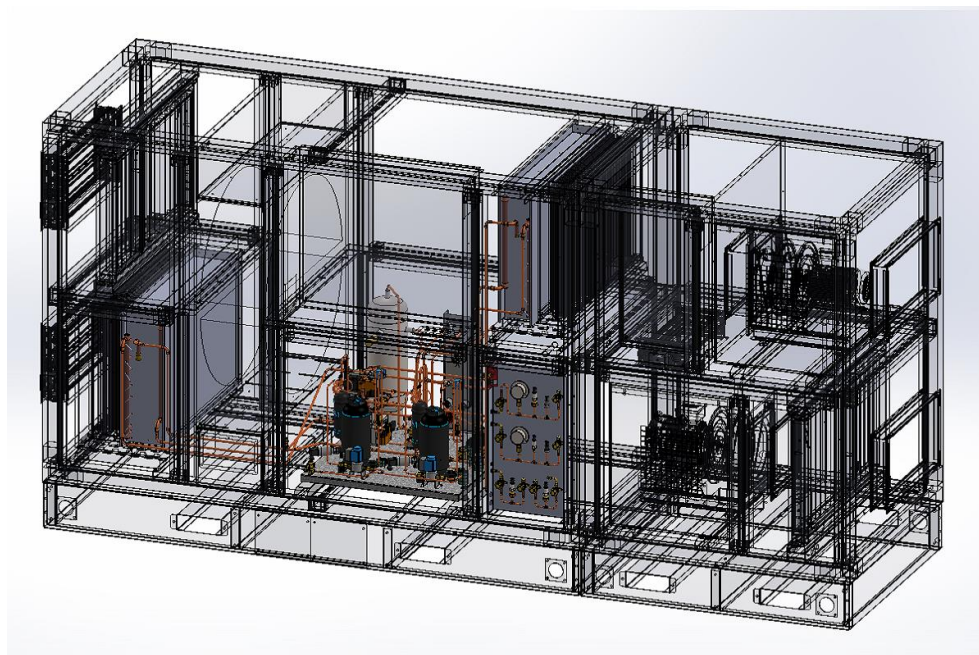


ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

температурния потенциал на отработения въздух в системите за климатизация. Използването на CO<sub>2</sub> осигурява по-висок коефициент на преобразуване в приоритетния режим на отопление в сравнение с този при R407C и R410A и сходен коефициент на преобразуване в режим на охлаждане.



Фигура 9.5. Интегрирана транскритична термopомпена система за двустепенна регенерация на топлина, работеща с CO<sub>2</sub>



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## 9.4 R717 (амоняк)

Амонякът е хладилен агент, който се отличава с изключително благоприятните си термодинамични и преносни свойства и с нулев потенциал за глобално затопляне (ПГЗ).

Високата критична температура означава, че дори при високи температури на кондензация процесите в системата протичат при параметри много по-ниски от тези в критичната точка. Това води до по-малки термодинамични загуби при процесите на сгъстяване и дроселиране, което е ключов фактор за постигане на висока енергийна ефективност.

Поради ниската му моларна маса, плътността на амоняка е относително ниска. Вследствие на това, въпреки много голямата си латентна топлина на фазов преход, амонякът има специфична обемна студопроизводителност съизмерима с тази на флуорсъдържащите хладилни агенти.

Амонякът е силно токсичен, но за сметка на това не оказва дългосрочни ефекти върху човешкия организъм и наличието му във въздуха се регистрира лесно благодарение на характерната си остра миризма. При обемни концентрации във въздуха между 15 и 28 % е запалим и избухлив, но има относително малка специфична топлина на горене. На база на посочените факти амонякът е класифициран с група на безопасност V2L.

Поради по-високите изисквания за безопасност и несъвместимостта му с медта и медните сплави, поне в средносрочна перспектива, се очаква приложението на амоняка да остане ограничено основно до индустриални хладилни и термопомпени системи със средна и голяма мощност. Фигура 9.6 показва техническо помещение на съвременна индустриална амонячна хладилна система, а на Фигура 9.7 термопомпена система за централизирано отопление на жилищен комплекс.

През последните пет години амонякът намира приложение и във водоохлаждащи агрегати с малко количество хладилен агент (low charge). Фигура 9.8 представя пример за водоохлаждащ агрегат, работещ с амоняк.





Фигура 9.6 Техническо помещение на индустриална амонячна хладилна система (източник: Scantec – [www.scantec.com.au](http://www.scantec.com.au))



Фигура 9.7 Индустриална термопомпена система за централизирано отопление, работеща с амоняк (източник: АВВ – <https://global.abb/group/en>)



Фигура 9.8 Водоохлаждащ агрегат с малко количество хладилен агент (low charge), работещ с амоняк (източник: Azane – [www.azane-inc.com](http://www.azane-inc.com))

### Въпроси и задачи:

- 1) Кое свойство на R290 (пропан) осигурява по-широк работен диапазон на компресора в сравнение с R410A?
- 2) Коя е основната причина приложението на R600a да е ограничено до системи с малка хладилна мощност?
- 3) Кое характерно свойство отличава R744 от останалите широко използвани хладилни агенти?
- 4) Кое свойство на амоняка е ключов фактор за постигане на висока енергийна ефективност?
- 5) Посочете основните недостатъци на амоняка.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Посочва правилно кое свойство на R290 (пропан) осигурява по-широк работен диапазон на компресора в сравнение с R410A.	ДА 12 НЕ 0		
2.	Посочва правилно коя е основната причина, приложението на R600a да е ограничено до системи с малка хладилна мощност.	ДА 12 НЕ 0		
3.	Посочва правилно кое характерно свойство отличава R744 от останалите широко използвани хладилни агенти.	ДА 12 НЕ 0		
4.	Посочва правилно кое свойство на амоняка е ключов фактор за постигане на висока енергийна ефективност.	ДА 12 НЕ 0		
5.	Посочва правилно основните недостатъци на амоняка.	ДА 12 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:		
Клас:	дата:	подпис:
Преподавател:		
Оценка:		подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение		Срок:



## 10. ИЗМЕРВАНЕ И АНАЛИЗ НА РАБОТНИТЕ ПАРАМЕТРИ

### В този урок ще научим:

- Кои са ключовите работни параметри на хладилната система и точките, в които се измерват.
- Какво представлява работният лист и как се използва.
- Кои са основните правила за правилно измерване на работните параметри на хладилната система.
- Как се идентифицират някои от най-често срещаните причини за неправилно функциониране на хладилните и термopомпени системи.

За да се установи дали дадена хладилна или термopомпена система функционира нормално и за да се идентифицира причината за конкретен технически проблем, е необходимо правилното измерване и анализ на определени работни параметри. Ключът към анализиране на поведението на хладилната система е разбирането на това, как тези параметри взаимодействат помежду си.

### 10.1 Ключови работни параметри

Ключовите работни параметри и точките, в които трябва да бъдат определени с цел анализиране на поведението на хладилната система, са следните:

- **На изхода на изпарителя** – налягането и температурата на изпарение, температурата на студените пари и прегрева;
- **На входа на компресора** – налягането на засмукване, смукателната температура на насищане (СТН), температурата на засмукване и смукателния прегрев;



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

- **На изхода на компресора** – налягането на нагнетяване, нагнетателната температура на насищане (НТН) и температурата на нагнетяване;
- **На входа на дроселиращия орган** – налягането и температурата на насищане, температурата на течността и охлаждането.



Смукателна температура на насищане (СТН) е температурата на насищане, съответстваща на налягането на засмукване (на входа на компресора).



Смукателният прегрев е разликата между температурата на засмукване (измерената температура на хладилния агент на входа на компресора) и смукателната температура на насищане.



Нагнетателна температура на насищане (НТН) е температурата на насищане, съответстваща на налягането на нагнетяване (на изхода на компресора).

В повечето случаи информацията за работните параметри на системата в тези четири точки е достатъчна, за да бъде правилно разчетено поведението на хладилната система. Останалите параметри в хладилната система са помощни.

## 10.2 Работен лист

На Фигура 10.1 е представен работен лист, който служи за записване на ключовите работни параметри на хладилната система.

Параметър	Означение	Дименсия	Стойност
<b>Изпарител</b>			
Налягане на изпарение	$p_0$	[bar]	
Температура на изпарение	$t_0$	[°C]	
Температура на хладилния агент на изхода от изпарителя	$t_{0h}$	[°C]	
Прегрев	$\Delta t_{0h}$	[K]	
Температура на охлажданата среда на входа на изпарителя	$t_{A1} / t_{W1}$	[°C]	
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	



Параметър	Означение	Дименсия	Стойност
<b>Компресор</b>			
Налягане на засмукване	$p_s$	[bar]	
Смукателна температура на насищане (СТН)	SST	[°C]	
Температура на засмукване	$t_s$	[°C]	
Смукателен прегрев	$\Delta t_{0hs}$	[K]	
Налягане на нагнетяване	$p_d$	[bar]	
Нагнетателна температура на насищане (НТН)	SDT	[°C]	
Температура на нагнетяване	$t_d$	[°C]	
Работен ток	I	[A]	
<b>Кондензатор</b>			
Налягане на кондензация	$p_c$	[bar]	
Температура на кондензация	$t_c$	[°C]	
Температура на хладилния агент на входа на кондензатора	$t_{ch}$	[°C]	
Налягане на хладилния агент на изхода от кондензатора	$p_{cu}$	[bar]	
Температура на насищане на изхода от кондензатора	$t_{cusat}$	[°C]	
Температура на хладилния агент на изхода от кондензатора	$t_{cu}$	[°C]	
Подохлаждане на изхода от кондензатора	$\Delta t_{cu}$	[K]	
Температура на охлаждащата среда на входа на кондензатора въздух / вода	$t_{A1} / t_{W1}$	[°C]	
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	
<b>Дроселиращ орган</b>			
Налягане на хладилния агент на входа на дроселиращия орган	$p_{vcu}$	[bar]	
Температура на насищане на хладилния агент на входа на дроселиращия орган	$t_{vsat}$	[°C]	
Температура на хладилния агент на входа на дроселиращия орган	$t_{vcu}$	[°C]	
Подохлаждане на входа на дроселиращия орган	$\Delta t_{vcu}$	[K]	

Фигура 10.1 Работен лист, описващ ключовите работни параметри на хладилната система

### 10.3 Основни правила при измерване на работните параметри

Обикновено не е възможно и не е необходимо параметрите във всички точки на хладилната система да бъдат измервани едновременно. Възниква



въпросът кога отделните точки в хладилната система трябва да бъдат разграничавани и кога не. Определящият фактор за това е конфигурацията (схемата) на системата.

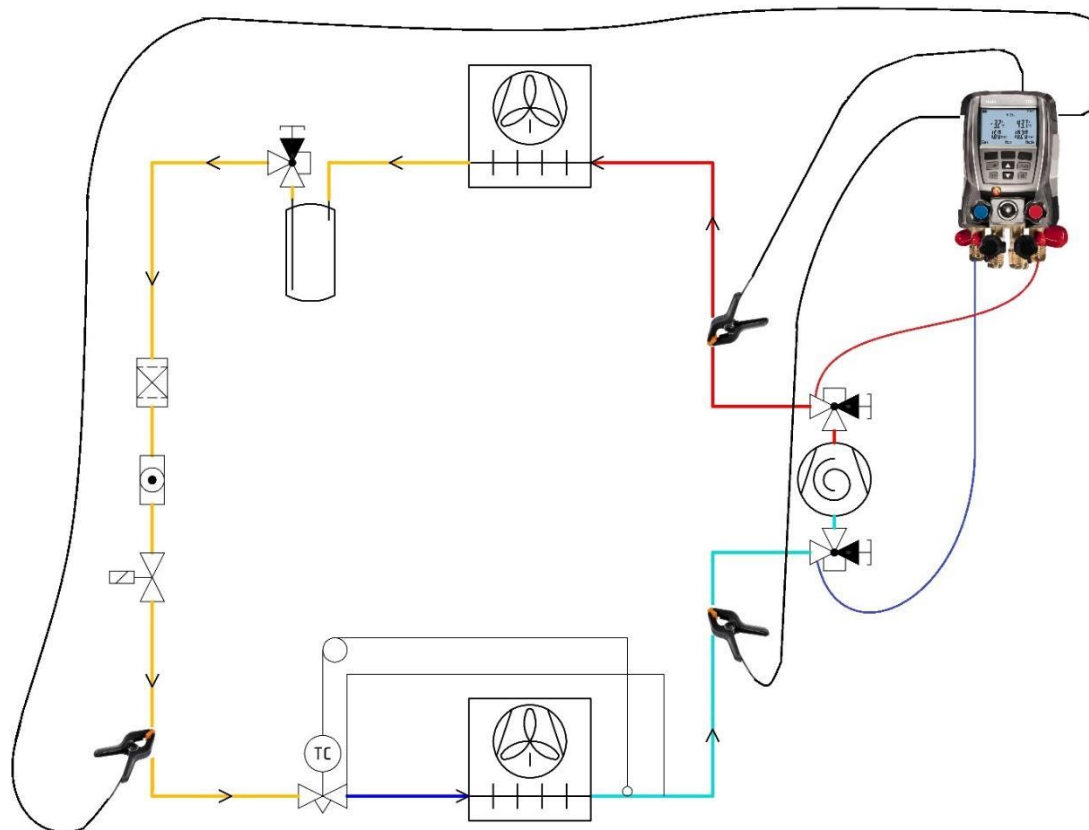
Основните критерии, чрез които се определя дали да бъдат разграничавани параметрите в хладилната система, са:

- Разстоянието между основните елементи – падовете на налягане и промяната в температурата (вследствие на топлообмен с околната среда);
- Второстепенните елементи в системата – например четирипътен реверсивен вентил, вътрешен топлообменник, економайзер и т.н.;
- Характерът на конкретния технически проблем – например редуцирана хладилна/топлинна мощност, интензивно заскрежаване на изпарителя, прегряване на компресора и т.н.

Пример за параметри, които е необходимо да се прецени дали да бъдат разграничавани, или не, са температурата и налягането на изхода на изпарителя и тези на входа на компресора. В системи с голям смукателен пад на налягане, тоест с дълги смукателни тръбопроводи, е необходимо да бъдат разграничени параметрите на изхода на изпарителя от тези на входа на компресора. Причината е, че смукателният пад на налягане води до пряко увеличаване на специфичния обем на хладилния агент и специфичната работа на компресора. Това означава съществено редуциране на хладилната мощност и увеличаване на консумацията на енергия.

Обикновено не е необходимо параметрите във високата страна на хладилната система да се разграничават, т.е. приема се, че налягането на кондензация е равно на налягането на нагнетяване. Причината за това е, че в повечето хладилни системи нагнетателният пад на налягане е малък. Освен това той оказва по-малко влияние върху мощността и ефективността на хладилната система от смукателния пад на налягане.

На Фигура 10.2 е показан пример за измерване на работните параметри на стандартен компресорно-кондензаторен агрегат. В случая е достатъчно измерването на параметрите на входа и изхода на компресора и на изхода на кондензатора.



Фигура 10.2 Схема на измерване на основните работни параметри на стандартен компресорно-кондензаторен агрегат

Различен обаче е подходът при проблем във VRF система (система с променлив дебит на хладилния агент), състоящ се в интензивно заскрежаване на топлообменния апарат на външното тяло – изпарителя в режим на отопление.

В този случай трябва да бъдат измерени налягането и температурата на хладилния агент на изхода на изпарителя и температурата на входящия въздух; да се определят температурата на изпарение и прегревят на изхода на изпарителя.

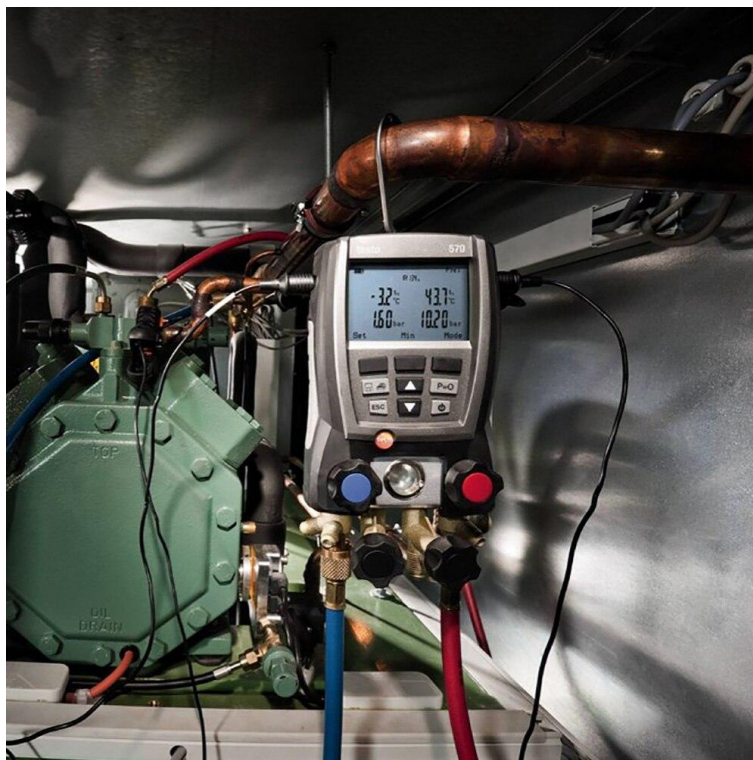
За да се изчисли подохладването, не е достатъчно да се измери налягането на изхода на компресора. Необходимо е да се измери налягането и температурата на течността на входа на регулиращия вентил. Причината е, че в режим на отопление горещите пари преминават през вътрешните тела, тръбопроводи, които обикновено са с голяма дължина, и други елементи. Съответно налягането на течността на входа на регулиращия вентил е значително по-ниско от налягането на изхода на компресора.





Ако за определяне на подохладането се използва нагнетателното налягане, получената стойност ще бъде съществено по-висока от реалната. При условие че по определена причина на входа на регулиращия вентил липсва подохладане, т.е. налице е двуфазна смес, дебитът на хладилния агент през вентила би бил редуциран, което именно би била причината за интензивното заскрежаване на изпарителя. Ето защо, ако подохладането не се определи правилно, това би довело до невъзможност за идентифициране на проблема.

За да се анализира правилно поведението на хладилната система, на първо място, е необходимо всички измерени работни параметри да си съответстват във времето. Това не е възможно, ако се използват конвенционални манометри и термометри. За тази цел е на практика задължително използването на съвременни специализирани електронни уреди. Фигура 10.3 показва пример за такъв уред, който позволява измерване и запис на всички основни параметри на хладилната система.



Фигура 10.3 Специализиран електронен уред за измерване и запис на основните работни параметри на хладилната система (източник: Conrad – <https://www.conrad.com/>)



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

Основните правила, които трябва да бъдат спазвани при измерване, са следните:

- Измерените работни параметри да си съответстват във времето;
- Измерването да има достатъчна продължителност, за да се обхване динамиката на процесите в хладилната система;
- Системата да е поставена в реални работни условия или възможно най-близки до тях условия;
- Да бъдат отчетени и доколкото е възможно да се изолират всички неконтролирани фактори.

В точки от 10.4 до 10.8 се разглеждат различни комбинации от работни параметри, съответстващи на някои често срещани технически проблеми.

## 10.4 Недостатъчно количество хладилен агент

Симптомите на хладилна система, в която е налице недостатъчно количество хладилен агент, са следните:

- ниски налягания и температури на изпарение;
- голям прегрев в изпарителя;
- ниски налягания и температури на кондензация;
- средни до високи температури на нагнетяване;
- голям нагнетателен прегрев;
- малко охлаждане;
- средна до малка входяща температурна разлика в кондензатора;
- нисък работен ток на компресора.

На Фигура 10.4 е показан работен лист, в който са записани стойностите на работните параметри на среднотемпературна хладилна система, работеща с R134a.



Параметър	Означение	Дименсия	Стойност
<b>Изпарител</b>			
Налягане на изпарение	$p_0$	[bar]	0,3
Температура на изпарение	$t_0$	[°C]	-21,0
Температура на хладилния агент на изхода от изпарителя	$t_{0h}$	[°C]	-4,4
Прегрев	$\Delta t_{0h}$	[K]	16,6
Температура на охлаждащата среда на входа на изпарителя	$t_{A1}$	[°C]	-1,7
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	19,3
<b>Компресор</b>			
Температура на засмукване	$t_s$	[°C]	10,0
Смукателен прегрев	$\Delta t_{0hs}$	[K]	31,0
Температура на нагнетяване	$t_d$	[°C]	90,6
Работен ток на компресора	I	[A]	нисък
<b>Кондензатор</b>			
Налягане на кондензация	$p_c$	[bar]	6,0
Температура на кондензация	$t_c$	[°C]	26,5
Температура на хладилния агент на изхода от кондензатора	$t_{cu}$	[°C]	25,6
Подохлаждане	$\Delta t_{cu}$	[K]	0,9
Температура на охлаждащата среда на входа на кондензатора	$t_{amb}$	[°C]	21,1
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	5,4

Фигура 10.4 Работен лист на среднотемпературна хладилна система, работеща с R134a, в която е налице недостатъчно количество хладилен агент

### Задача:

Посочете кои от стойностите, записани в работния лист, показват, че в системата е налице недостатъчно количество хладилен агент. Обяснете защо.

## 10.5 Презареждане с хладилен агент

Симптомите на хладилна система, презаредена с хладилен агент, са следните:

- нормални до високи налягания и температури на изпарение;
- нормален прегрев;
- високи налягания на кондензация;
- високи температури на нагнетяване;
- голямо подохлаждане;
- голямо отношение на сгъстяване;
- голяма входяща температурна разлика в кондензатора;
- висок работен ток на компресора.



Параметър	Означение	Дименсия	Стойност
<b>Изпарител</b>			
Налягане на изпарение	$p_0$	[bar]	0,6
Температура на изпарение	$t_0$	[°C]	-15,6
Температура на хладилния агент на изхода от изпарителя	$t_{0h}$	[°C]	-12,2
Прегрев	$\Delta t_{0h}$	[K]	3,4
Температура на охлаждащата среда на входа на изпарителя	$t_{A1}$	[°C]	-7,5
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	8,2
<b>Компресор</b>			
Температура на засмукване	$t_s$	[°C]	-3,8
Смукателен прегрев	$\Delta t_{0hs}$	[K]	11,8
Температура на нагнетяване	$t_d$	[°C]	116,0
Работен ток на компресора	$I$	[A]	висок
<b>Кондензатор</b>			
Налягане на кондензация	$p_c$	[bar]	11,9
Температура на кондензация	$t_c$	[°C]	49,2
Температура на хладилния агент на изхода от кондензатора	$t_{cu}$	[°C]	32,2
Подохлаждане	$\Delta t_{cu}$	[K]	17,0
Температура на охлаждащата среда на входа на кондензатора	$t_{amb}$	[°C]	21,1
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	28,1

Фигура 10.5 Работен лист на среднотемпературна хладилна система, работеща с R134a, презаредена с хладилен агент

### Задача:

Посочете кои от стойностите, записани в работния лист, показват, че системата е презаредена с хладилен агент. Обяснете защо.

## 10.6 Замърсена топлообменна повърхност на кондензатора

Симптомите на хладилна система със замърсена топлообменна повърхност на кондензатора са следните:

- нормални до високи налягания и температури на изпарение;
- нормален прегрев;
- високи налягания на кондензация;
- високи температури на нагнетяване;
- нормално до средно повишено подохлаждане;
- голямо отношение на сгъстяване;
- голяма входяща температурна разлика в кондензатора;
- висок работен ток на компресора.



Параметър	Означение	Дименсия	Стойност
<b>Изпарител</b>			
Налягане на изпарение	$p_0$	[bar]	0,4
Температура на изпарение	$t_0$	[°C]	-18,8
Температура на хладилния агент на изхода от изпарителя	$t_{0h}$	[°C]	-12,2
Прегрев	$\Delta t_{0h}$	[K]	6,6
Температура на охлаждащата среда на входа на изпарителя	$t_{a1}$	[°C]	-9,5
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	9,4
<b>Компресор</b>			
Температура на засмукване	$t_s$	[°C]	-3,9
Смукателен прегрев	$\Delta t_{0hs}$	[K]	14,9
Температура на нагнетяване	$t_d$	[°C]	121,0
Работен ток на компресора	$I$	[A]	висок
<b>Кондензатор</b>			
Налягане на кондензация	$p_c$	[bar]	12,8
Температура на кондензация	$t_c$	[°C]	51,9
Температура на хладилния агент на изхода от кондензатора	$t_{cu}$	[°C]	43,3
Подохлаждане	$\Delta t_{cu}$	[K]	8,6
Температура на охлаждащата среда на входа на кондензатора	$t_{amb}$	[°C]	21,1
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	30,8

Фигура 10.6 Работен лист на среднотемпературна хладилна система, работеща с R134a, със замърсена топлообменна повърхност на кондензатора

### Задача:

Посочете кои от стойностите, записани в работния лист, показват, че системата е със замърсен кондензатор. Обяснете защо.

## 10.7 Наличие на некондензиращи газове

Симптомите на хладилна система, в която има некондензиращи газове (най-често въздух или азот) са следните:

- нормални до високи налягания и температури на изпарение;
- нормален прегрев;
- високи налягания на кондензация;
- високи температури на нагнетяване;
- голямо подохлаждане;
- голямо отношение на сгъстяване;
- голяма входяща температурна разлика в кондензатора;
- висок работен ток на компресора.



Параметър	Означение	Дименсия	Стойност
<b>Изпарител</b>			
Налягане на изпарение	$p_0$	[bar]	0,6
Температура на изпарение	$t_0$	[°C]	-15,6
Температура на хладилния агент на изхода от изпарителя	$t_{0h}$	[°C]	-8,3
Прегрев	$\Delta t_{0h}$	[K]	7,3
Температура на охлаждащата среда на входа на изпарителя	$t_{A1}$	[°C]	-7,4
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	8,2
<b>Компресор</b>			
Температура на засмукване	$t_s$	[°C]	4,4
Смукателен прегрев	$\Delta t_{0hs}$	[K]	20,0
Температура на нагнетяване	$t_d$	[°C]	113,0
Работен ток на компресора	$I$	[A]	висок
<b>Кондензатор</b>			
Налягане на кондензация	$p_c$	[bar]	12,8
Температура на кондензация	$t_c$	[°C]	51,9
Температура на хладилния агент на изхода от кондензатора	$t_{cu}$	[°C]	29,4
Подохлаждане	$\Delta t_{cu}$	[K]	22,5
Температура на охлаждащата среда на входа на кондензатора	$t_{amb}$	[°C]	23,9
Входяща температурна разлика	DT1	[K]	28,0

Фигура 10.7 Работен лист на среднотемпературна хладилна система, работеща с R134a, в която има некондензиращи газове

### Задача:

Посочете кои от стойностите, записани в работния лист, показват, че в системата има некондензиращи газове. Обяснете защо.

### 10.8 Запушен регулиращ вентил

Симптомите на хладилна система със запушен термостатичен регулиращ вентил са следните:

- ниски налягания и температури на изпарение;
- голям прегрев;
- ниски налягания и температури на кондензация;
- средно повишени температури на нагнетяване;
- нормално до средно повишено подохлаждане;
- малко отношение на сгъстяване;
- малка входяща температурна разлика в кондензатора;
- нисък работен ток на компресора.



Параметър	Означение	Дименсия	Стойност
<b>Изпарител</b>			
Налягане на изпарение	$p_0$	[bar]	0,1
Температура на изпарение	$t_0$	[°C]	-24,3
Температура на хладилния агент на изхода от изпарителя	$t_{0h}$	[°C]	-1,1
Прегрев	$\Delta t_{0h}$	[K]	23,2
Температура на охлажданата среда на входа на изпарителя	$t_{a1}$	[°C]	0,0
Входяща температурна разлика	$DT1$	[K]	24,3
<b>Компресор</b>			
Температура на засмукване	$t_s$	[°C]	18,3
Смукателен прегрев	$\Delta t_{0hs}$	[K]	42,6
Температура на нагнетяване	$t_d$	[°C]	93,3
Работен ток на компресора	$I$	[A]	нисък
<b>Кондензатор</b>			
Налягане на кондензация	$p_c$	[bar]	7,2
Температура на кондензация	$t_c$	[°C]	32,2
Температура на хладилния агент на изхода от кондензатора	$t_{cu}$	[°C]	21,1
Подохлаждане	$\Delta t_{cu}$	[K]	11,1
Температура на охлаждащата среда на входа на кондензатора	$t_{amb}$	[°C]	23,9
Входяща температурна разлика	$DT1$	[K]	8,3

Фигура 10.8 Работен лист на среднотемпературна хладилна система, работеща с R134a, със запушен термостатичен регулиращ вентил

### Задача:

Посочете кои от стойностите, записани в работния лист, показват, че хладилната система е със запушен термостатичен регулиращ вентил. Обяснете защо.



## Критерии за оценка:

№	Критерии за оценка	Показател / бр. точки	Получен брой точки	Срещнах затруднения при...
1.	Посочва правилно стойностите, които показват, че в системата е налице недостатъчно количество хладилен агент. Аргументира правилно отговора.	ДА 12 НЕ 0		
2.	Посочва правилно стойностите, които показват, че в системата е презаредена с хладилен агент. Аргументира правилно отговора.	ДА 12 НЕ 0		
3.	Посочва правилно стойностите, които показват, че системата е със замърсена топлообменна повърхност на кондензатора. Аргументира правилно отговора.	ДА 12 НЕ 0		
4.	Посочва правилно стойностите, които показват, че в системата има некондензиращи газове. Аргументира правилно отговора.	ДА 12 НЕ 0		
5.	Посочва правилно стойностите, които показват, че системата е със запушен термостатичен регулиращ вентил. Аргументира правилно отговора.	ДА 12 НЕ 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс. 60</b> <b>мин. 0</b>		

Получен бр. точки	Оценка	Моята оценка е:
60 - 55	Отличен 6	
54 - 45	Мн. добър 5	
44 - 35	Добър 4	
34 - 31	Среден 3	
30 - 0	Слаб 2	

Имена на ученика:		
Клас:	дата:	подпис:
Преподавател:		
Оценка:		подпис:
<input type="checkbox"/> има нужда от допълнително обучение		Срок:





## 11. ПОДГОТОВКА ЗА СПОЯВАНЕ НА МЕДНИ ТРЪБИ

<https://www.youtube.com/watch?v=MzMBjrWPBZs>

В този урок ще научим:

- с какво се режат тръби;
- как и защо се шаброва;
- как се експандира.

---

### Подготовка за спояване на медни тръби (Cu)

Независимо от начина на спояване с мек или твърд припой, някои от операциите са общи и много важни за качеството на реализираната спойка.

Следвайки алгоритъма по-долу, вие ще можете лесно да подготвите тръбите към всеки вид спояване.

Работете стъпка по стъпка; не бързайте!

---

### НЕОБХОДИМИ ИНСТРУМЕНТИ И МАТЕРИАЛИ:

Cu-тръби



шлосерски метър



чертилка



тръборез



газова горелка



шабър



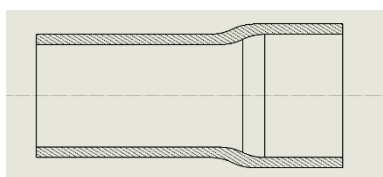
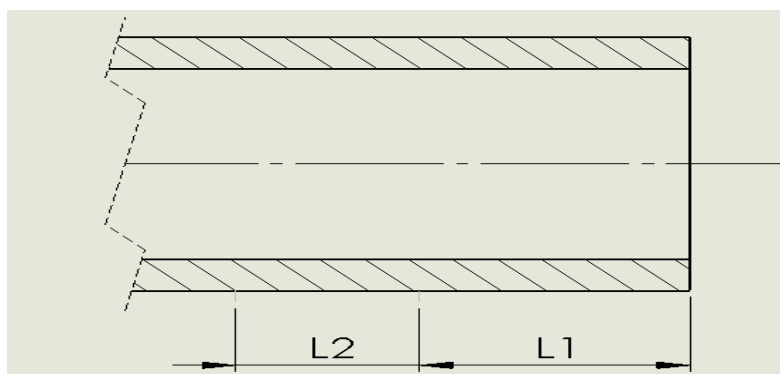
експандер



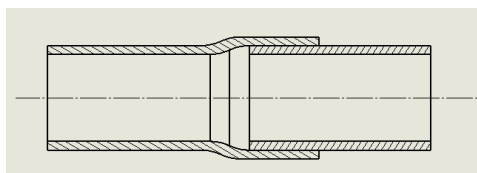


За целта на упражнението подготовката за спояване ще бъде реализирана с две заготовки с размери  $L1=30$  мм (А) за експандиране и  $L2=25$  мм (Б), играеща роля на насрещна тръба.

Фигура 1



Заготовка А след експандиране



В монтирано положение на заготовка Б в заготовка А



№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с <b>X</b> , ако се затруднявате
1.	<b>Разчертайте</b> Си-тръба с размерите $L1=30$ мм и $L2=25$ мм (Б) с точност 1 мм /Фиг. 1 /.	
2.	<b>Отрежете</b> заготовките с тръборез.	
3.	<b>Зачистете</b> ръбовете на отрязаните заготовки с триъгълен шабър.	
4.	<b>Запалете и настройте</b> газовата горелка с необходимата мощност според диаметъра на тръбата.	
5.	<b>Нагривайте</b> заготовката до $t \approx 650^{\circ}\text{C}$ (вишневочервен цвят).	
6.	<b>Охладете</b> заготовката във вода.	
7.	<b>Експандирайте</b> (разширете) единия край на заготовката, като предварително подберете накрайника според диаметъра на тръбата /Фиг. 2/.	
8.	<b>Монтирайте Б в А</b> и се убедете, че хлабината между двете е малка, което е необходимо условие за възникване на капиларен ефект; чрез него припоят ще проникне по цялата контактна повърхност /Фиг. 3/.	
9.	<b>Разчертайте</b> Си-тръба с размерите $L1=30$ мм и $L2=25$ мм (Б) с точност 1 мм /Фиг. 1 /.	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
1.	Разчертава Си-тръба с размерите L1=30 мм и L2=25 мм (Б) с необходимата точност.	Да Не	8 0		
2.	Отрязва заготовките с тръборез.	Да Не	8 0		
3.	Зачиства ръбовете на отрязаните заготовки с триъгълен шабър.	Да Не	6 0		
4.	Запалва и настройва газовата горелката.	Да Не	8 0		
5.	Нагрива до вишневочервено заготовката.	Да Не	6 0		
6.	Охлажда заготовката във вода.	Да Не	2 0		
7.	Експандира заготовката А, като спазва изискването за получаване на минимална хлабина между А и Б.	Да Не	12 0		
8.	Монтира Б в А и оценява получената хлабина.	Да Не	10 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс.</b> <b>мин.</b>	60 0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

Ученик (имена): .....; .....клас,

Дата: .....

(подпис)

Преподавател: .....

Оценка: .....

(подпис)

Има нужда от допълнително обучение.

Срок: .....



## 12. СПОЯВАНЕ С МЕК ПРИПОЙ

<https://www.youtube.com/watch?v=IloY2bhI-gY>

В този урок ще научим:

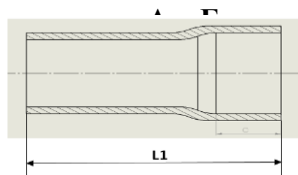
- каква е специфичната подготовка за спояване с мек припой;
- какви са температурните режими при спояване;
- какви са правилата при спояване с мек припой.

Спазвайки алгоритъма, вие лесно ще реализирате спойки между Cu-тръби и фитинги, чрез които да реализирате различни тръбни конфигурации, използвани за битово водоснабдяване и нискотемпературни отоплителни елементи.

Работете стъпка по стъпка, като използвате знанията от алгоритъма за подготовка на Cu-тръби за спояване.

След приключване на работата ще имате възможност да направите самооценка на изпълнението и сами да прецените допуснатите от вас грешки.

### НЕОБХОДИМИ ИНСТРУМЕНТИ И МАТЕРИАЛИ:



флюс за мек припой



абразивна четка



мек припой



абразивна гъба



газова горелка





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

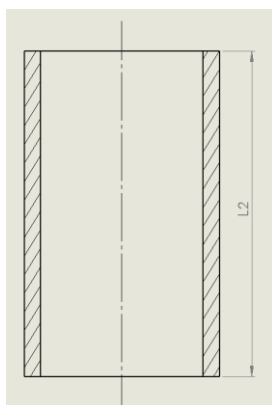
### НОЖОВКА



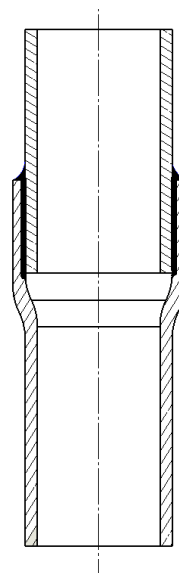
### клещи 2 броя



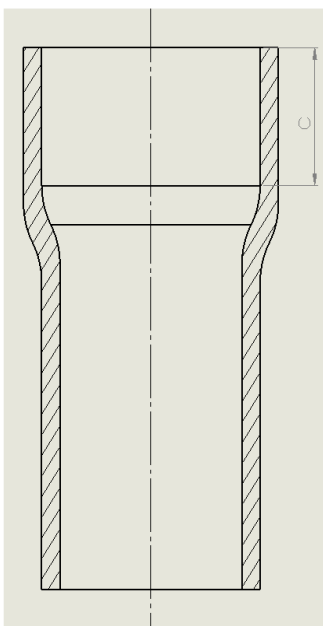
### преди спояване



### след спояване







### L1 след експандиране

№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с X, ако се затруднявате
1.	Зачистете експандираната заготовка А (чашката) с абразивна четка до блясък.	
2.	Зачистете заготовка Б с абразивна гъба на разстояние $C + 1$ мм до блясък.	
3.	Нанесете равномерно флюс по контактните повърхнини с четка.	
4.	Монтирайте Б в А и развъртете двата детайла (флюсът да се разпредели равномерно), като повторяте операцията, докато не се убедите, че по двете контактни повърхнини има равномерен слой флюс.	
5.	Монтирайте сглобените части върху подходящо приспособление на стиска.	



6.	Запалете и регулирайте мощността на горелката (температурата на топене на мекия припой е около 330°C).	
7.	Загрявайте равномерно чашката, като пламъкът се подава под ръба на чашката (предпазва от изгаряне на флюса над ръба).	
8.	Следете промяната на цвета на флюса! Когато потъмнее, вероятно е достигната необходимата температура.	
9.	Отнемете пламъка и подавайте по ръба мекия припой до запълване на ръба.	
10.	Охладете споените части във вода и почистете с текстилна кърпа.	
11.	Разгледайте външната визия на спойката за: <ul style="list-style-type: none"><li>- равномерно запълнен ръб</li><li>- липса на припой върху чашката и над ръба.</li></ul>	
12.	Разрежете надлъжно получената спойка с ръчна ножовка.	
13.	Използвайте шлосерска стиска и клещи, за да отделите споените повърхнини.	
14.	Разгледайте получената контактна повърхнина и анализирайте дали тя е достатъчна, за да осигури необходимата здравина и плътност на спойката.	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Зачиства експандираната заготовка А (чашката) с абразивна четка до блясък.00	Да	2		
		Не	0		
2.	Зачиства заготовката Б с абразивна гъба на разстояние С +1 мм. до блясък.	Да	2		
		Не	0		
3.	Нанася равномерно флюс по контактните повърхнини с четка.	Да	2		
		Не	0		
4.	Монтира Б в А и развърта двата, като повторя операцията, докато не се убеди, че по двете контактни повърхнини има равномерен слой флюс.	Да	4		
		Не	0		
5.	Монтира сглобените части върху подходящо приспособление на стиска.	Да	2		
		Не	0		
6.	Запалва и регулира мощността на горелката според диаметъра на тръбата.	Да	4		
		Не	0		
7.	Загрява равномерно чашката, като подава пламъка под ръба под чашката.	Да	6		
		Не	0		
8.	Следи промяната на цвета на флюса!	Да	6		
		Не	0		
9.	Отнема пламъка и подава мекия припой до запълване на ръба.	Да	6		
		Не	0		



10.	Охлажда споените части във вода и почиства спойката.	Да Не	2 0		
11.	Разглежда външната визия на спойката като следи за: - равномерно запълнен ръб - липса на припой върху чашката и над ръба.	Да/Не Да/Не	6/0 6/0		
12.	Разрязва надлъжно получената спойка, спазвайки необходимата техника.	Да Не	2 0		
13.	Използва шлосерска стиска и клещи, за да отдели споените повърхнини.	Да Не	2 0		
14.	Разглежда получената контактна повърхнина и анализира дали тя е достатъчна, за да осигури необходимата здравина и плътност на спойката.	Да Не	8 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс.</b> <b>мин.</b>	60 0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

--



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

Ученик (имена): .....; .....клас,

Дата: .....

(подпис)

Преподавател: .....

Оценка: .....

(подпис)

Има нужда от допълнително обучение.

Срок: .....



## 13. СПОЯВАНЕ С ТВЪРД ПРИПОЙ

<https://www.youtube.com/watch?v=WDFKhzRiIlw>

В този урок ще научим:

- какви са температурните режими при спояване;
- какви са правилата при спояване с твърд припой.

Спазвайки алгоритъм, вие ще можете лесно да реализирате спойка между Cu-тръби и фитинги, чрез които да реализирате различни тръбни конфигурации, използвани в хладилната, климатичната и газовата техника.

Работете стъпка по стъпка, като използвате знанията за алгоритъм за подготовка на Cu-тръби за спояване.

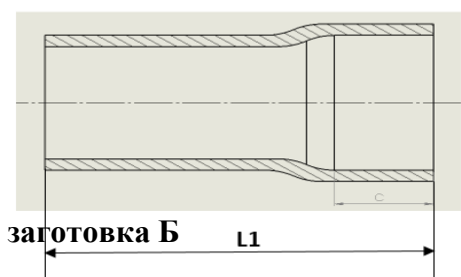
След приключване на работа ще имате възможността да направите самооценка на изпълнението, да прецените допуснатите от вас грешки, да изтъкнете разликата между необходимите инструменти, подготовката и техниката на спояване с твърд и мек припой.

### НЕОБХОДИМИ ИНСТРУМЕНТИ:

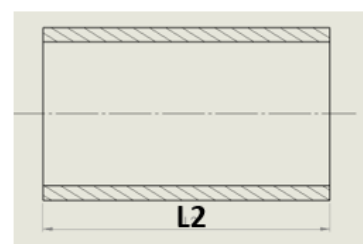
заготовка А

твърд припой Р6 (6% фосфор)

газо-кислородна горелка



заготовка Б





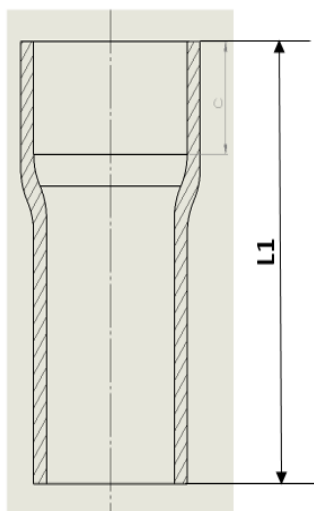
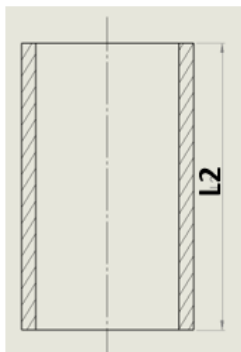


ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД

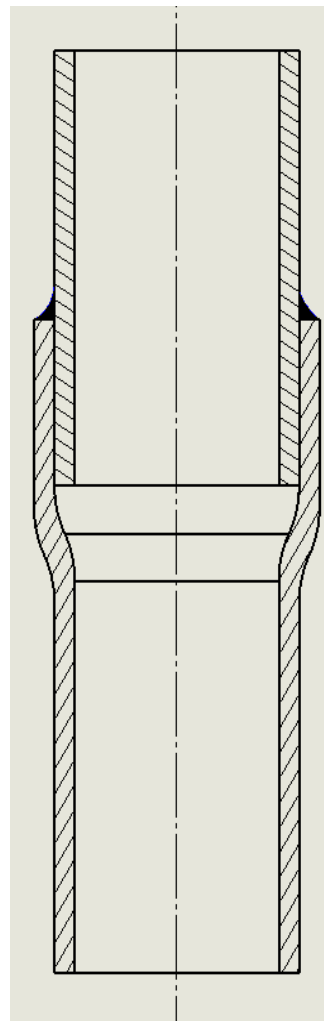


ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

преди спояване



след спояване





№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с <b>X</b> , ако се затруднявате
1.	<b>Регулирайте</b> работното налягане на кислорода на 2 bar.	
2.	<b>Регулирайте</b> работното налягане на горимия газ (пропан-бутан) на 1 bar .	
3.	<b>Запалете горелката</b> , спазвайки правилата за техниката на безопасност, и регулирайте мощността на пламъка според диаметъра на тръбата.	
4.	<b>Монтирайте</b> сглобените части върху подходящо приспособление - стиска.	
5.	<b>Загрявайте</b> равномерно чашката до температура над 700°C (температура на топене на твърдите припой), при което цялата зона става и се поддържа вишневочервена.	
6.	<b>Подавайте</b> твърдия припой по ръба до запълване, като пламъкът не се отнема от зоната.	
7.	<b>Охладете</b> споените части във вода и почистете.	
8.	<b>Разгледайте</b> външната визия на спойката за: <ul style="list-style-type: none"><li>- равномерно запълнен ръб</li><li>- липса на припой върху чашката или над ръба.</li></ul>	
<b>Получената спойка с твърд припой не се реже и отцепва физически; не е възможно!</b>		



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**

**Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор**



№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получе н брой точки	Срещнах затруднения при
1.	Регулира работното налягане на кислорода 2bar.	Да	6		
		Не	0		
2.	Регулира работното налягане на горимия газ 1bar.	Да	6		
		Не	0		
3.	Запалва горелката, спазвайки правилата за безопасност, и регулира мощността на пламъка.	Да	4		
		Не	0		
4.	Монтира сглобените част на подходящо приспособление.	Да	2		
		Не	0		
5.	Загрява равномерно чашката и поддържа вишневочервен цвят по време на спояване.	Да	10		
		Не	0		
6.	Подава твърдия припой до равномерно запълване на ръба.	Да	10		
		Не	0		
7.	Охлажда споените части във вода и почиства.	Да	2		
		Не	0		
8.	Разглежда външната визия на спойката, като следи за:  - равномерно запълнен ръб  - липса на припой върху чашката и над ръба.	Да/Не	10/0		
		Да/Не	10/0		
	<b>Общ брой точки:</b>	<b>макс.</b>	<b>60</b>		




ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

		<b>мин.</b>	0		
--	--	-------------	---	--	--

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

**Ученик** (имена): .....; .....клас,

Дата: ..... (подпис)

**Преподавател:** .....

Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



## 14. СВЪРЗВАНЕ НА МЕДНИ ТРЪБИ С РАЗГЛОБЯЕМИ ВРЪЗКИ НИПЕЛ-ГАЙКА

В този урок ще научим:

- предимствата и недостатъците при реализация на разглобяеми връзки;
- как се валцоват Cu-тръби;
- правила и техники на валцоване.

Разглобяемите връзки дават възможността за многократен монтаж и демонтаж на елементи от една инсталация, което се явява предимство при подмяна или ремонт на скъпо струващи елементи от една инсталация. Това предимство се явява и недостатък поради по-големите възможности за пропуск на протичащата среда. В хладилната и климатичната техника циркулиращият хладилен агент при пропуск на инсталация води и до замърсяване на околната среда, предизвиквайки силен парников ефект. Наличието на такива връзки предполага и честа проверка за пропуски.

Спазвайки алгоритъма, вие ще можете лесно да реализирате тръбни конфигурации, използвани в хладилната и климатичната техника.

### НЕОБХОДИМИ ИНСТРУМЕНТИ И МАТЕРИАЛИ:

стандартни Cu-тръби на кангал(навити)  
в метрична и цолова система



конусна дъска



бленда



пружина за изправяне



тръборез



триъгълен шабър





**фитинги**  
ключове за цолови и метрични тръби



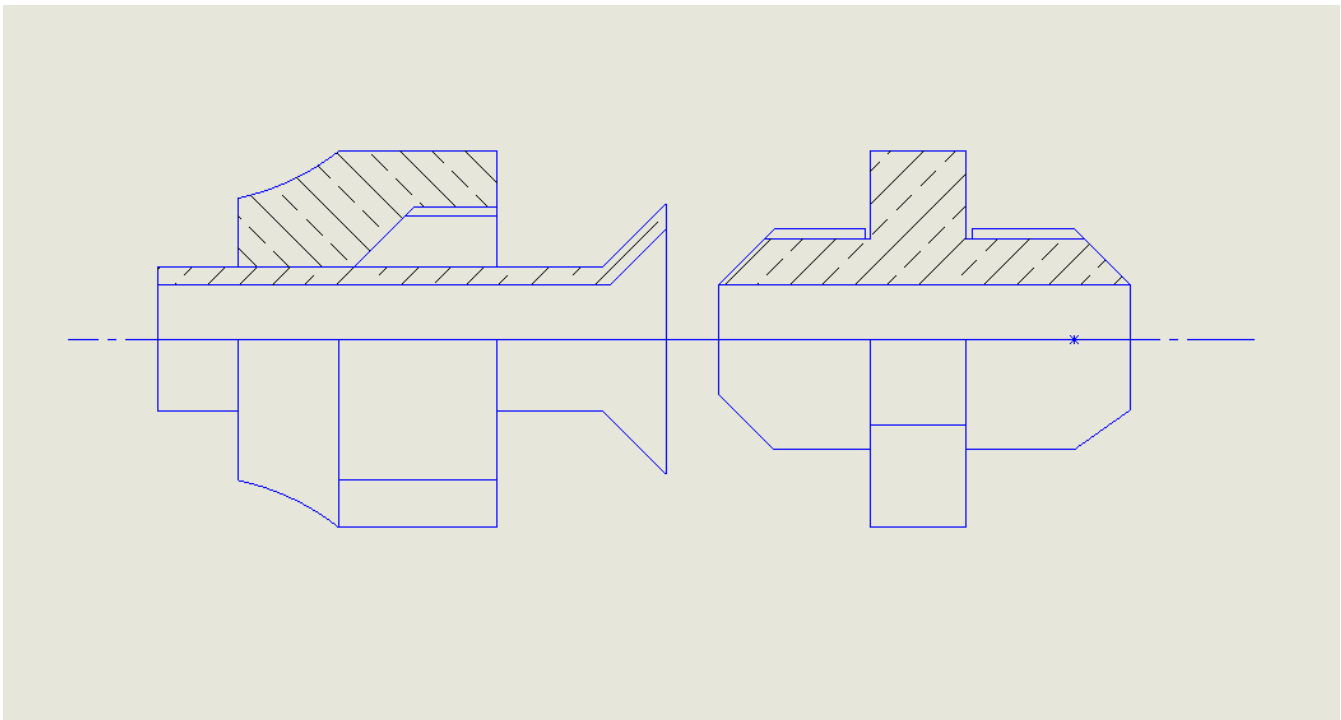
**нипел-гайка**



**комплект гаечни**



**Фигура 1**



1. Гайка
2. Външен конус на нипела
3. Валцован конус
4. Вътрешен конус на гайката



№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с X, ако се затруднявате
1.	Изправете част от Си-тръба на кангал (навита тръба) чрез използване на пружина с подходящ диаметър.	
2.	Разчертайте и отрежете необходимата дължина от тръбата с тръборез.	
3.	Зачистете външния и вътрешния ръб с триъгълен шабър. !!! Зачистването трябва да се извършва при долно разположение на отвора, за да изпаднат стружките на пода, а не в отвора на тръбата.	
4.	Монтирайте гайката на тръбата.	
5.	Притиснете тръбата в отворите на конусната дъска, съобразявайки дали тя е в „mm“ или в цолове, оставяйки тръбата да стърчи над дъската $l=0,6-0,8$ d външно.	
6.	Закрепете валцования конус върху конусната дъска.	
7.	Завъртете винта и започнете валцоването, докато ръбът на вътрешния конус на тръбата стане равен на ръба на външния конус на нипела (така гарантираме пълна контактна повърхнина).	
8.	Демонтирайте валцования конус и прегледайте получената валцована повърхност дали е гладка и симетрична спрямо оста на тръбата.	
9.	Посредством гаечните ключове реализирайте връзка между тръбата и нипела.	





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## **Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл**



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Изправя част от тръбата, използвайки пружина с подходящ диаметър.	Да	6		
		Не	0		
2.	Разчертава и отрязва необходима дължина от тръбата с тръборез с точност 1мм.	Да	4		
		Не	0		
3.	Зачиства външния и вътрешния ръб с триъгълен шабър, при което отворът на тръбата е в долно разположение.	Да	6		
		Не	0		
4.	Монтира гайката на тръбата.	Да	2		
		Не	0		
5.	Притиска тръбата в отвор на конусната дъска, като се съобразява с нейните размери и я оставя да стърчи $l=0,6-0,8d$ външно.	Да	8		
		Не	0		
6.	Закрепя валцования конус върху конусната дъска.	Да	4		
		Не	0		
7.	Завъртя винта и започва валцоване, докато ръбът на вътрешния конус на тръбата стане равен на ръба на външния конус на нипела.	Да	12		
		Не	0		
8.	Демонтира валцования конус и преглежда получената валцована повърхност дали е гладка и симетрична спрямо оста на тръбата.	Да	12		
		Не	0		



	Реализира връзка между тръбата и нипела посредством гаечни ключове.	Да	6		
		Не	0		
	<b>Общ брой точки:</b>	<b>макс.</b>	60		
		<b>мин.</b>	0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

**Ученик (имена):** .....; .....клас,

Дата: ..... (подпис)

**Преподавател:** .....

Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



## 15. ВАКУУМИРАНЕ НА ХЛАДИЛНИ И ТЕРМОПОМПЕНИ СИСТЕМИ

В този урок ще научим:

- **защо е необходимо да се вакуумират посочените системи;**
- **какви последствия може да има при експлоатация на недобре вакуумирани системи;**
- **кое е необходимото оборудване и каква е технологичната последователност на неговата реализация.**

---

Всяка хладилна и термопомпена система трябва да се вакуумира, за да се елиминира наличието на въздуха и влагата в нея, и то в максимална степен, защото:

- Наличието на въздух води до повишаване на  $P_k$  (налягане на кондензация), като заема част от обема на кондензатора и повишава енергийния разход.

- Наличието на влага води до окисляване на маслото в компресора и влошава мазането, повишава триенето и износването на сдружените повърхности на компресора. Влагата, попадайки в най-тесните сечения (капилярната тръба ТРВ) на системата, при ниска температура може да замръзне и да спре циркулацията на хладилния агент.

Целта на вакуумирането е да извлечем в максимална степен въздуха и влагата, за да гарантираме добрите експлоатационни характеристики на системата и тяхната енергийна ефективност.

Исходно положение: система, пълна с въздух, при атмосферно налягане  $1at=1 \text{ Bar}=100000 \text{ Pa}=0,1 \text{ MPa}$ .

Крайно положение: система, вакуумирана до максимално нисък устойчив вакуум ( $p^{\text{max.вакуум}}$ ) до стойност приблизително  $p^{\text{max.вакуум}}=0,05 \text{ Pa}$  или 99,95% вакуум (визуално стрелката е близо до 1-2 деления над 0). Такава стойност може да се достигне само с маслена двустъпална вакуумпомпа.

При малки хладилни инсталации вакуумирането се извършва обикновено само от смукателната страна, докато при големите задължително се извършва от ниската и високата страна на инсталацията за по-бързо и по-качествено вакуумиране на обема между клапаните на компресора.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## НЕОБХОДИМО ОБОРУДВАНЕ:

Двустъпална вакуумпомпа стенд, включваща манометричен блок и вакуумметър



комплект маркучи с накрайници



вакуумметър



мановакуумметри за  
ниско и високо налягане

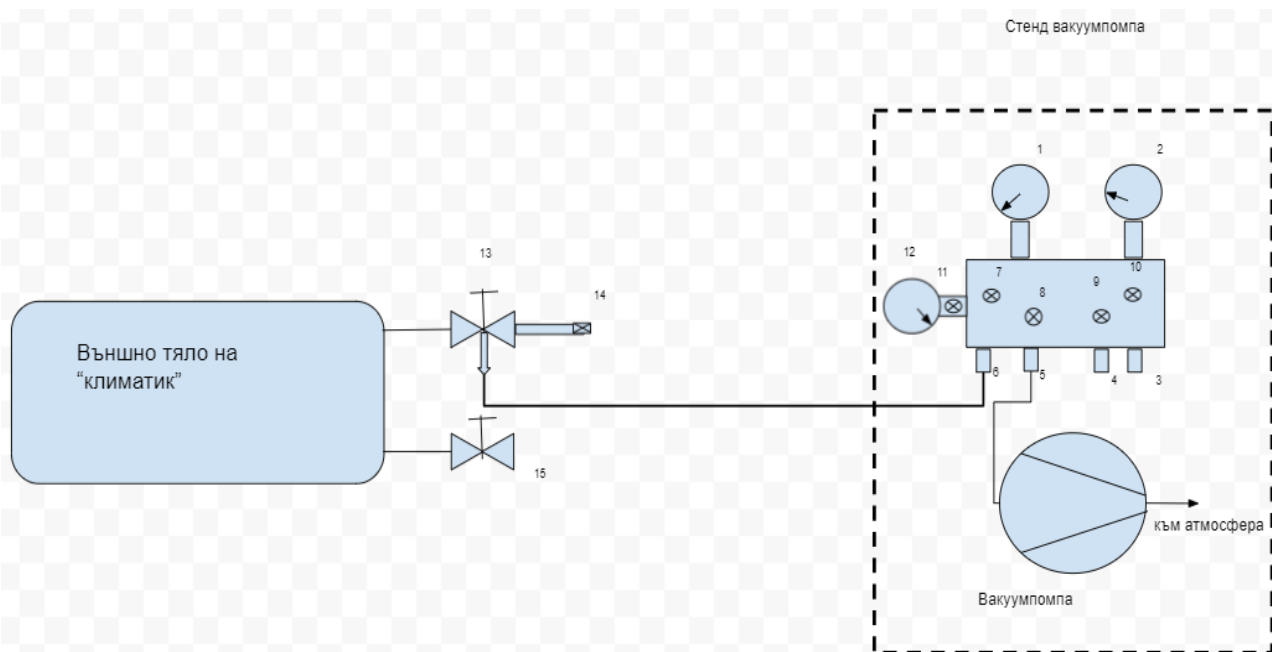


бутон за включване на помпата



наляво  
- без подгръване

надясно  
- с подгръване  
на маслото



**фиг.1**

- 1- мановакуумметър ниско налягане**
- 2 - мановакуумметър високо налягане**
- 3, 4, 5, 6 - изходи на манометричния блок**
- 7, 8, 9, 10, 11 - вентили на манометричния блок**
- 12 - вакуумметър**
- 13 - трипътен вентил**
- 14 - споен край на тръбата**
- 15 - двупътен вентил**



№	Алгоритъм (стъпка по стъпка) за вакуумиране	Отбележете с X, ако се затруднявате
1.	Прочетете схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	
2.	Обосновете функцията на елемент 14 от легендата.	
3.	Аргументирайте положението на вентилите 13 и 15.	
4.	Свържете манометричния блок на стенда със системата и се аргументирайте за избрания изход от блока.	
5.	Включете вакуумпомпата, като подберете режима според температурата на околната среда.	
6.	Опишете реда на отваряне на вентилите по пътя на вакуума.	
7.	Отворете 11, след като убедите, че е безопасно за 12 по 1.	
8.	Вакуумирайте, докато прецените, че е достигнато $p^{\max. \text{вакуум}}$ . Изчакайте още около 2 минути и преценете кой вентил трябва да се затвори преди изключване на вакуумпомпата.	
9.	При кои от следните положения системата е вакуумирана (възможен е повече от един правилен отговор): <ul style="list-style-type: none"><li>- стрелката слиза по-близо до положение 0</li><li>- стрелката се покачва две три деления</li><li>- стрелката се покачва по-бавно или по-бързо до 1000 mBar=1at</li><li>- стрелката не променя положението си.</li></ul>	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**





### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Проучва схемата и прилежащата легенда.	Да	4		
		Не	0		
2.	Обосновава функцията на елемента 14.	Да	6		
		Не	0		
3.	Аргументира положението на вентилите 13, 15.	Да	6		
		Не	0		
4.	Свързва манометричния блок на стенда със системата и се аргументира за избрания изход от блока.	Да	4		
		Не	0		
5.	Включва вакуумпомпата като подбира режима според температурата на околната среда.	Да	4		
		Не	0		
6.	Описва реда на отваряне на вентилите по пътя на вакуума.	Да	6		
		Не	0		
7.	Отваря 11 анализирайки показанията на 1.	Да	8		
		Не	0		
8.	Вакуумира до $p^{\text{max. вакуум}}$ и след 2 минути преценя кой вентил трябва да се затвори преди изключване на вакуумпомпата.	Да	10		
		Не	0		



9.	Прави извод дали системата е вакуумирана. Извод:	Да	12		
		Не	0		
Общ брой точки:		макс.	60		
		мин.	0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

Ученик (имена): .....; .....клас,

Дата: ..... (подпис)

Преподавател: .....

Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



## 16. ПРОБА НА ЯКОСТ ПОД НАЛЯГАНЕ

В този урок ще научим:

- **важността на пробата за екологията;**
- **каква е целта на тази първа проба;**
- **технологичната последователност при нейната реализация.**

---

Всяка тръбна конфигурация, по която циркулира флуид, е и част от системата, която трябва да покрива определени технически параметри; налага се да се извършат поредица от проби, гарантиращи нейната функционалност. Особено важно е това за хладилните и климатичните системи, в които циркулират флуиди (хладилни агенти), които при разрушаване на системата изтичат в околната среда и имат екологично въздействие върху нея заради високия си потенциал за глобално затопляне (ПГЗ).

Целта на пробата на якост под налягане е да се гарантира, че системата няма да се разруши при определено налягане за кратко време, през което ще сработят всички защитни системи. За това кратко време системата няма да покрива своите технически параметри.

Изходни параметри за реализация:

- $r_{якост} = 1, 2$ . рраб. [MPa]
- Среда=N
- Етапи=3р първи етап=1/3  $r_{якост}$ ; Р втори етап=2/3  $r_{якост}$ ; р трети етап= $r_{якост}$ ;
- Продължителност на извършване на пробата=5 min,

където:

- $r_{якост}$  [MPa] е налягане на проба на якост
- рраб. [MPa] е максималното допустимо налягане на кондензация и се отчита от фирмената табела на системата
- „N”- химичен знак на азота, който е инертен газ и след подаването му в системата я прочиства частично от въздух и влага.



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



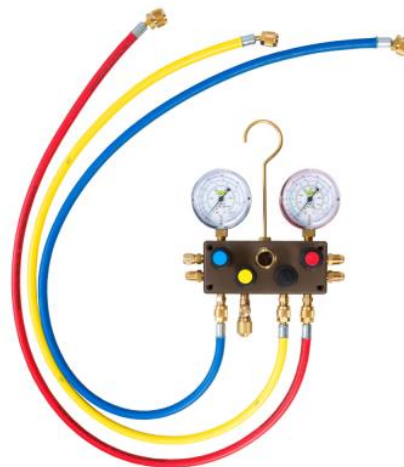
ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## НЕОБХОДИМИ СТЕНДОВЕ И ОБОРУДВАНЕ:

азотна бутилка с редуцир вентил

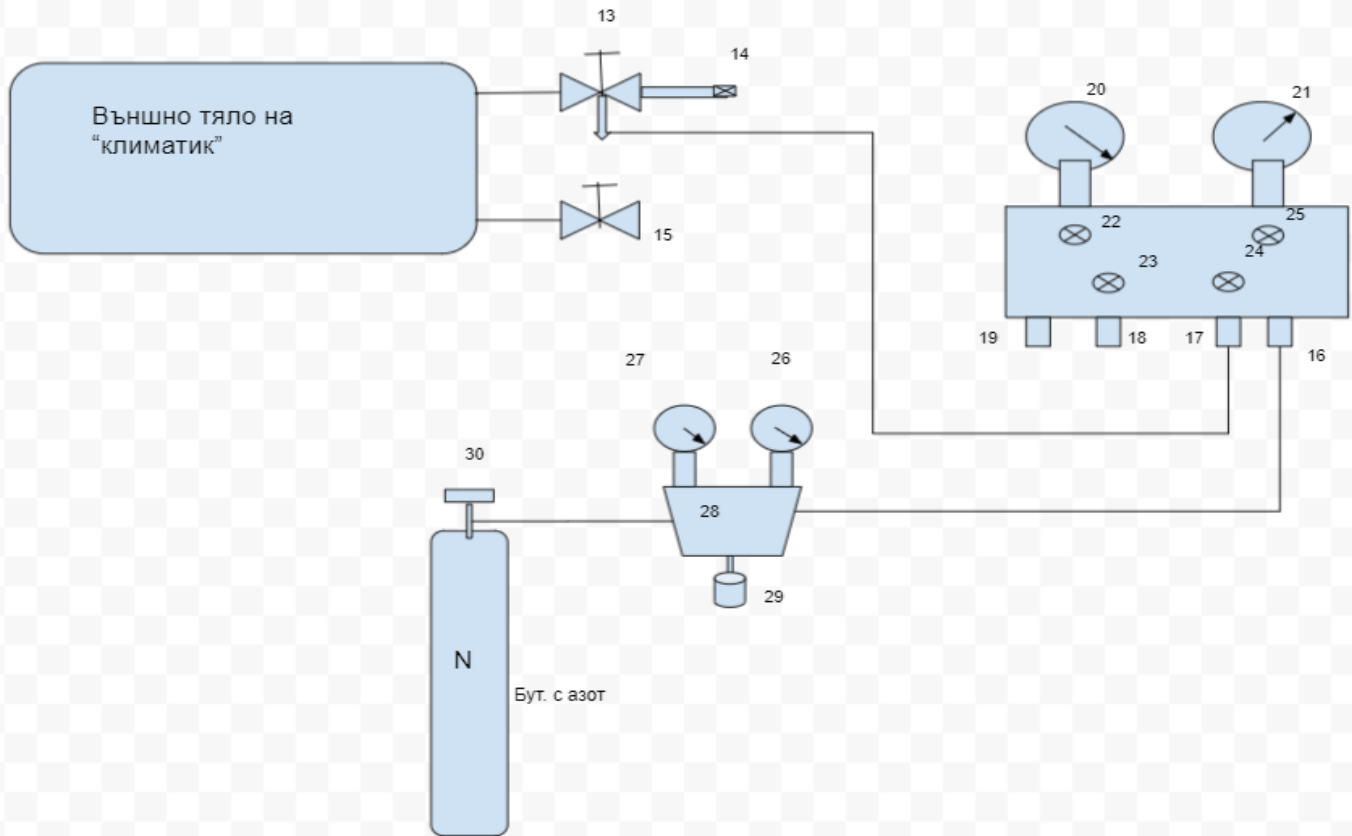


манометричен блок



комплект маркучи с накрайници





- 20 - мановакуумметър ниско налягане**
- 21 - мановакуумметър високо налягане**
- 16,17,18,19 - изходи на манометричния блок**
- 28 - блок с редуцир вентил с манометър за ниско и високо налягане,**
- 22,23,24,25 - вентили на манометричния блок**
- 13 - трипътен вентил**
- 14 - споен край на тръбата**
- 15 - двупътен вентил**
- 26 - манометър работно налягане**
- 27 - манометри за високо и работно налягане**
- 29 - ръкохватка на редуцир вентил**
- 30 - вентил на бутилка с азот**



№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с X, ако се затруднявате
1.	Проучете схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	
2.	Обосновете функцията на елемента 14 от легендата.	
3.	Аргументирайте положението на вентилите 13 и 15.	
4.	Отчетете $p_{\text{раб.}}$ от фирмената табела и изчислете $p_{\text{якост}}=?$ , като превърнете получената стойност в bar.	
5.	Аргументирайте се целесъобразността на свързване на маркуча 28 към манометричния блок.	
6.	Обяснете какво налага пробата да се извършва на три етапа.	
7.	Изчислете $p_{\text{първи етап}}=?$	
8.	Убедете се, че 29 е в крайно външно положение (редуцир вентилът е затворен). Обяснете защо.	
9.	Отворете вентил 30.	
10.	Чрез 29 подайте азот до $p=p_{\text{първи етап}}$ и контролирайте чрез 26.	
11.	Затворете 30 и се аргументирайте защо е необходимо.	
12.	Изчакайте кратко време, дайте оценка може ли да се премине на следващ етап и какви действия ще предприемете, ако налягането се променя.	
13.	Отворете 30 и чрез 29 повишете до $p_{\text{втори етап}}$ и контролирайте чрез 26.	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

14.	Затворете 30 изчакайте кратко време и дайте оценка може ли да се премине на следващ етап.	
15.	Отворете 30 и чрез 29 повишете до $p = p_{\text{трети етап}} = p_{\text{якост}}$ и контролирайте чрез 26.	
16.	Затворете 30, изчакайте около 5 минути и направете извод дали пробата на якост е успешна.	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**





### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Проучва схемата и прилежащата легенда.	Да	2		
		Не	0		
2.	Обосновава функцията на елемента 14.	Да	2		
		Не	0		
3.	Аргументира положението на вентилите 13, 15.	Да	6		
		Не	0		
4.	Отчита $r_{\text{раб.}}$ от фирмената табела и изчислява $r_{\text{якост}}$ . Като превърне получената стойност в bar.	Да	4		
		Не	0		
5.	Аргументира целесъобразността на свързването на маркуча 28 към манометричния блок.	Да	4		
		Не	0		
6.	Обяснява защо се налага пробата да се извършва на три етапа.	Да	4		
		Не	0		
7.	Изчислява $r_{\text{първи етап}} = ?$	Да	2		
		Не	0		
8.	Убеждава се, че 29 е в крайно външно положение. Обяснява необходимостта на проверката.	Да	6		
		Не	0		
9.	Отваря вентила 30.	Да	2		
		Не	0		



10.	Чрез 29 подава р <sub>първи етап</sub> и контролира чрез 26.	Да	2		
		Не	0		
11.	Затваря 30 и се аргументира защо е необходимо.	Да	6		
		Не	0		
12.	Изчаква, дава оценка и се аргументира дали да се премине на втори етап.	Да	6		
		Не	0		
13.	Отваря 30 и чрез 29 подава р <sub>втори етап</sub> и контролира чрез 26.	Да	2		
		Не	0		
14.	Затваря 30 изчаква и дава оценка може ли да се премине на трети етап.	Да	4		
		Не	0		
15.	Отваря 30 и чрез 29 повишава до р <sub>трети етап</sub> =р <sub>якост</sub> и контролира чрез 26.	Да	2		
		Не	0		
16.	Затваря 30 изчаква около 5 минути и прави извод дали пробата на якост е успешна.	Да	6		
		Не	0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс.</b>	60		
		<b>мин.</b>	0		

<b>Получен брой точки и оценка</b>	<b>Моята оценка е:</b> 	
60 - 55 = Отличен (6)		



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

54 - 45 = Много добър (5)		
44 - 35 = Добър (4)		
34 - 31 = Среден (3)		
30 - 0 = Слаб (2)		

**Ученик** (имена): .....; .....клас,

Дата: ..... (подпис)

**Преподавател:** .....

Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



## 17. ПРОБА НА ПЛЪТНОСТ ПОД НАЛЯГАНЕ

В този урок ще научим:

- **важността на втората проба за екологията;**
- **каква е целта на пробата на плътност под налягане;**
- **технологичната последователност за нейната реализация.**

На тази проба се подлага всяка хладилна и климатична система след нейния монтаж или след всяко нейно разхерметизиране, за да се гарантира, че няма да има пропуски и екологично въздействие върху околната среда.

Целта на пробата на плътност под налягане е да гарантира, че от системата няма да има пропуски за времето при налягането, с което е извършена, както и че тя ще покрива всички свои технически параметри.

Изходни параметри и среди за реализация:

- $p_{\text{плътност}} = p_{\text{раб.}}$  [MPa]
- среда „N”
- етапи 3  $p_{\text{първи етап}} = 1/3 p_{\text{раб.}}$ ;  $p_{\text{втори етап}} = 2/3 p_{\text{раб.}}$ ;  $p_{\text{трети етап}} = p_{\text{раб.}}$
- време за извършване на пробата:

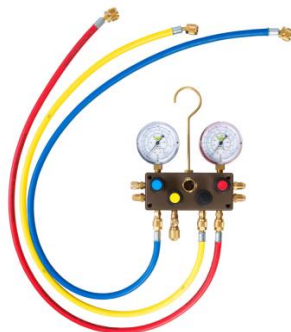
- а) Според техническата документация на фирмата производител (24h; 48h; 72h...)
- б) Ако няма технически инструкции - максимално дълго време

### НЕОБХОДИМИ ИНСТРУМЕНТИ И МАТЕРИАЛИ:

азотна бутилка  
с редуцир вентил

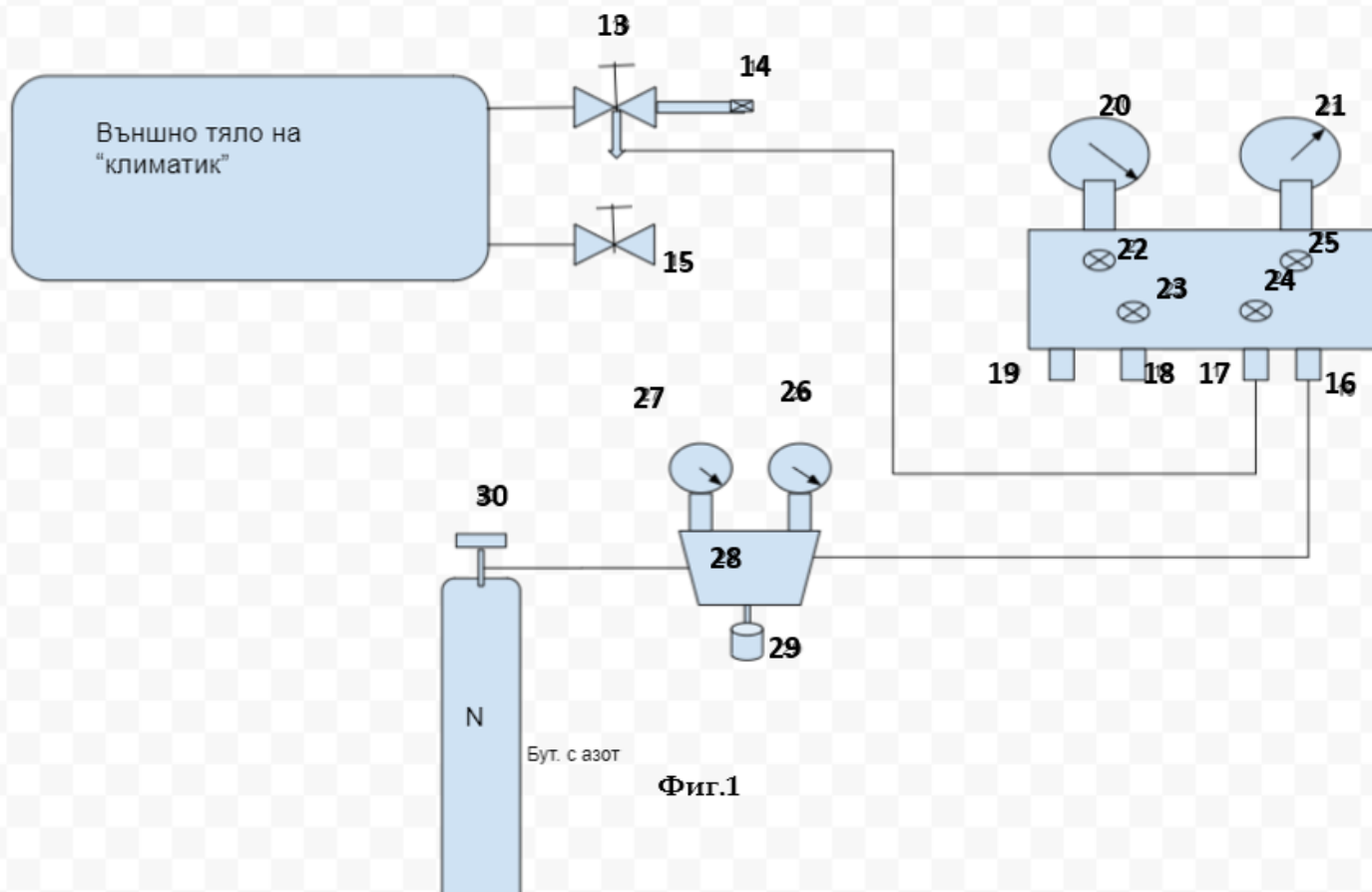


манометричен блок



комплект маркучи  
с накрайници





- 20 - мановакуумметър ниско налягане**  
**21 - мановакуумметър високо налягане**  
**16,17,18,19 - изходи на манометричния блок**  
**28 - блок с редуцир вентил с манометър за ниско и високо налягане,**  
**22,23,24,25 - вентили на манометричния блок**  
**13 - трипътен вентил**  
**14 - споен край на тръбата**  
**15 - двупътен вентил**  
**26 - манометър работно налягане**  
**27 - манометри за високо и работно налягане**  
**29 - ръкохватка на редуцир вентил**  
**30 - вентил на бутилка с азот**

№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с X,
---	------------------------------	-----------------



		ако се затруднявате
1.	Защо времето на пробата за якост се извършва за кратко време, а пробата на плътност за дълго време?	
2.	Проучете схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	
3.	Отчетете $p_{\text{раб}}$ от фирмената табела, като превърнете стойността в bar.	
4.	Изчислете $p_{\text{първи етап}} = ?$	
5.	Убедете се, че 29 е в крайно външно положение (редуцир вентилът е затворен). Обяснете защо.	
6.	Отворете 30, чрез 29 подайте азот до $p = p_{\text{първи етап}}$ и контролирайте чрез 26.	
7.	Затворете 30 и дайте оценка може ли да се премине на следващ етап.	
8.	Отворете 30 и чрез 29 повишаваме до $p_{\text{втори етап}}$ , контролирайки чрез 26.	
9.	Затворете 30 и дайте оценка може ли да се премине на следващ етап.	
10.	Отворете 30 и повишете налягането до $p = p_{\text{трети етап}} = p_{\text{плътност}}$ . Изчакайте необходимото според техническата документация време и дайте заключение дали пробата на плътност е успешна според критериите: <ul style="list-style-type: none"><li>- налягането малко е нараснало</li><li>- налягането малко е намаляло</li><li>- налягането не се е променило</li><li>- налягането много е намаляло.</li></ul>	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Аргументира продължителността на пробата за плътност, сравнявайки я с времето за проба на якост.	Да	10		
		Не	0		
2.	Проучва схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	Да	4		
		Не	0		
3.	Отчита $p_{\text{раб}}$ от фирмената табела, като превръща стойността в bar.	Да	4		
		Не	0		
4.	Изчислява $p_{\text{първи етап}} = ?$	Да	4		
		Не	0		
5.	Убеждава се, че 29 е в крайно външно положение, и обяснява необходимостта на проверката.	Да	6		
		Не	0		
6.	Отваря 30 и чрез 29 подава азот до $p = p_{\text{първи етап}}$ , спазвайки правилата за работа с редуцир вентил и контролира чрез 26.	Да	4		
		Не	0		
7.	Затваря 30 и дава оценка дали може да се премине на следващ етап.		4		
		Да	0		
		Не			
8.	Отваря 30 и чрез 29 повишава до $p_{\text{втори етап}}$ , контролирайки чрез 26.	Да	4		
		Не	0		





9.	Затваря 30 и дава оценка дали може да се премине на следващ етап.		4 0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс.</b>	60		
		<b>мин.</b>	0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

**Ученик** (имена): .....; .....клас,

Дата: ..... (подпис)

**Преподавател:** .....

Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



## 18. ПРОБА НА ПЛЪТНОСТ ПОД ВАКУУМ

**В този урок ще научим:**

- каква е целта на пробата на плътност под вакуум;
- технологичната последователност за нейната реализация.

Всяка система (или част от система), която работи под вакуум, е необходимо да се подложи на проба на плътност под вакуум. Много хладилни и термopомпени системи работят в този режим особено когато трябва да се получат по-ниски температури на изпарение  $t_0(^{\circ}\text{C})$ . Вакуумирането на тези системи се явява и задължително условие преди зареждането на системата с хладилен агент.

Целта на плътност под вакуум е да гарантираме, че в системата няма да проникне въздух и влага по време на целия експлоатационен период.

Исходно положение: понеже пробата на плътност под вакуум се явява трета проба след пробата за плътност под налягане, то следва, че системата е запълнена с  $N_2$  - при високо налягане и при свързване с вакуумпомпа тя би се повредила. За целта изпускаме азота до налягане 0,2-0,5 Bar - безопасно за клапаните на вакуумпомпата.

Крайно положение: система, вакуумирана до  $p_{\text{max}}$  вакуум. Проверката се прави за време според техническата документация или за максимално дълго време.

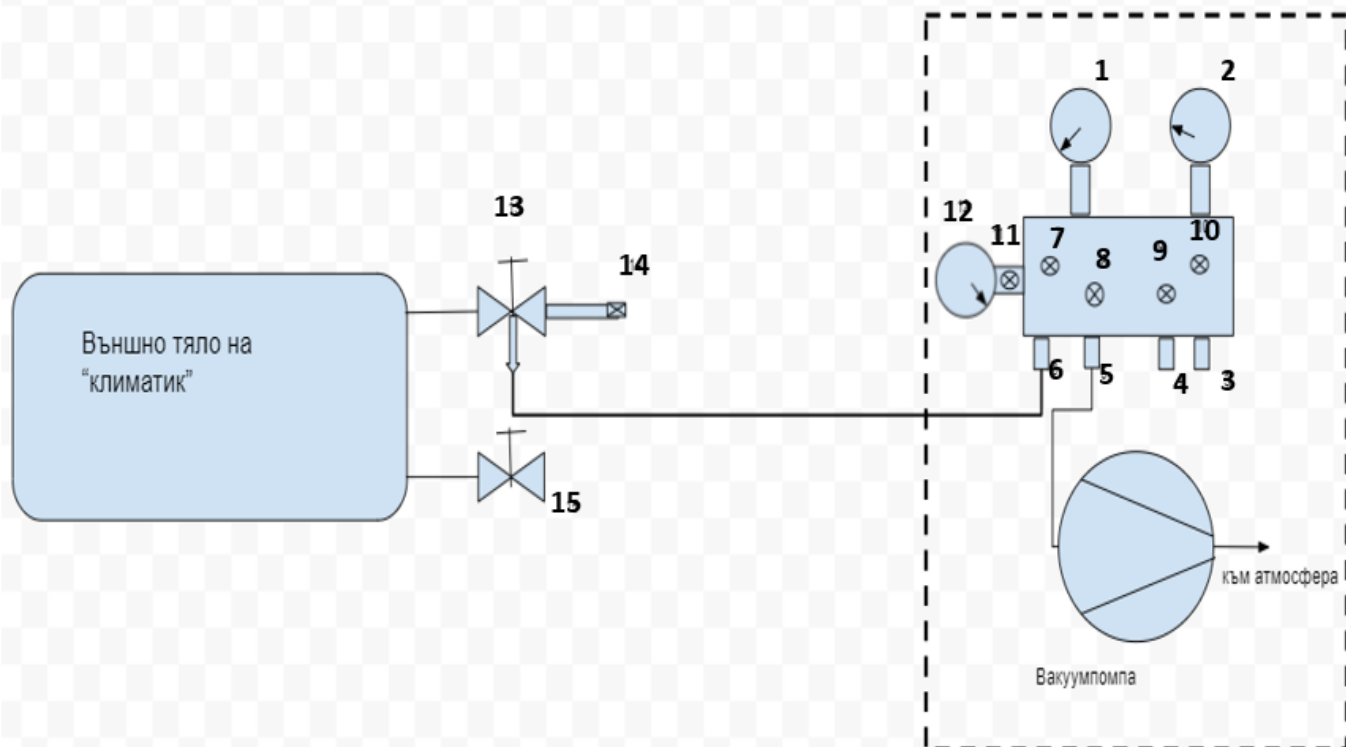
### НЕОБХОДИМИ ИНСТРУМЕНТИ И МАТЕРИАЛИ:

двустъпална вакуумпомпа-стенд  
с манометричен блок и вакуумметър



комплект маркучи с накрайници





**фиг.1**

- 1 - мановакуумметър ниско налягане**
- 2 - мановакуумметър високо налягане**
- 3,4,5,6 - изходи на манометричния блок**
- 7,8,9,10,11 - вентили на манометричния блок**
- 12 - вакуумметър**
- 13 - трипътен вентил**
- 14 - споен край на тръбата**
- 15 - двупътен вентил**



№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с <b>X</b> , ако се затруднявате
1.	Проучете схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	
2.	Обяснете функциите на елементите 13, 14 и 15 от легендата.	
3.	Свържете манометричния блок на стенда със системата и се аргументирайте за избрания изход от блока.	
4.	Отворете необходимия вентил за да прецените дали е изпуснат азота до 0,5 Bar.	
5.	Включете вакуумпомпата, като подберете режима според температурата на околния въздух.	
6.	Опишете реда на отваряне на вентилите по пътя на вакуума и обяснете кога се отваря 11.	
7.	Достигнете до $p_{\max}$ вакуум и обосновайте по какво се преценява.	
8.	Обосновайте кой вентил от стенда трябва да се затвори, преди да се изключи вакуумпомпата.	
9.	Изчакайте необходимото време и направете заключение дали системата е херметична под вакуум според показанието на стрелката (възможен е повече от един правилен отговор): <ul style="list-style-type: none"><li>- стрелката не е променила положението си</li><li>- стрелката се е покачила с две три деления</li><li>- стрелката се е покачила близко или е на атмосферно налягане.</li></ul>	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Проучва схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	Да	2		
		Не	0		
2.	Обяснява функциите на елементите 13, 14 и 15 от легендата.	Да	4		
		Не	0		
3.	Свързва манометричния блок на стенда със системата и се аргументира за избрания изход от блока.	Да	4		
		Не	0		
4.	Посочва вентил и преценява дали е изпуснат азотът до 0,5 Bar.	Да	6		
		Не	0		
5.	Включва вакуумпомпата, като подбира режима според температурата на околния въздух.	Да	6		
		Не	0		
6.	Описва реда на отваряне на вентилите по пътя на вакуума и обяснява кога се отваря 11.	Да	10		
		Не	0		
7.	Достига до $p_{max}$ вакуум и обосновава по какво се преценява.	Да	10		
		Не	0		
8.	Обосновава кой вентил от стенда трябва да се затвори, преди да изключи вакуумпомпата.	Да	4		
		Не	0		
9.	Проучва схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	Да	14		
		Не	0		



	Извод:				
	<b>Общ брой точки:</b>	<b>макс.</b>	60		
		<b>мин.</b>	0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

**Ученик** (имена): .....; .....клас,

Дата: ..... (подпис)

**Преподавател:** .....

Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



## 19. ЗАРЕЖДАНЕ НА ХЛАДИЛЕН АГЕНТ В ПАРНА ФАЗА

В този урок ще научим:

- **къде се зарежда в парна фаза хладилният агент: в хладилни или термопомпени системи;**
- **каква е технологичната последователност;**
- **какви мерки за безопасно зареждане трябва да се спазват.**

Всяка подобна система, за да изпълнява своето предназначение, е необходимо да е с хладилен агент след необходимите проби и вакуумиране. В процеса на експлоатация при установени пропуски количеството на хладилния агент намалява и се налага дозареждане на системата. Хладилният агент може да се зареди според вида на хладилния агент и според големината на системата. Етапите на зареждане са два:

- под действие на разликата в наляганията ( $\Delta p$ )
- принудително включване на компресора или сух компресор.

Да припомним:

- всички зеотропни (R404a, R407C) и почти азеотропни (R410A) смеси задължително се зареждат в течна фаза;
- всички азеотропни смеси (R507) и монокомпонентните (R134, R600A, R717, R290) хладилни агенти могат да се зареждат в течна и парна фаза.

Зареждането в парна фаза става на смукателната страна на инсталацията, като се вземат необходимите мерки да се предотврати хидравличен удар на компресора.

При по-големите системи е предвиден отделител на течност (ОТ) и зареждането става преди него. При малки хладилни системи се вземат мерки:

- монтиране на *ФД*.  
или
- монтиране на малък съд ресивер, изпълняващ ролята на *ОТ*.

Препоръчва се плавно отваряне на вентила на бутилката. Всички тези мерки се взимат, за да сме сигурни, че до смукателната страна на компресора ще достигне само парна фаза, а не паро-течна смес, предизвиквайки хидравличен удар на компресора. Това води до разрушаване на полухерметичните и откритите компресори и залпово изпускане на хладилен агент с висок потенциал на глобално затопляне (ПГЗ).





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## НЕОБХОДИМО ОБОРУДВАНЕ:

**вакуумпомпа станция**



**комплект маркучи**

**с накрайници**



**бутилка**

**с монокомпонентен**

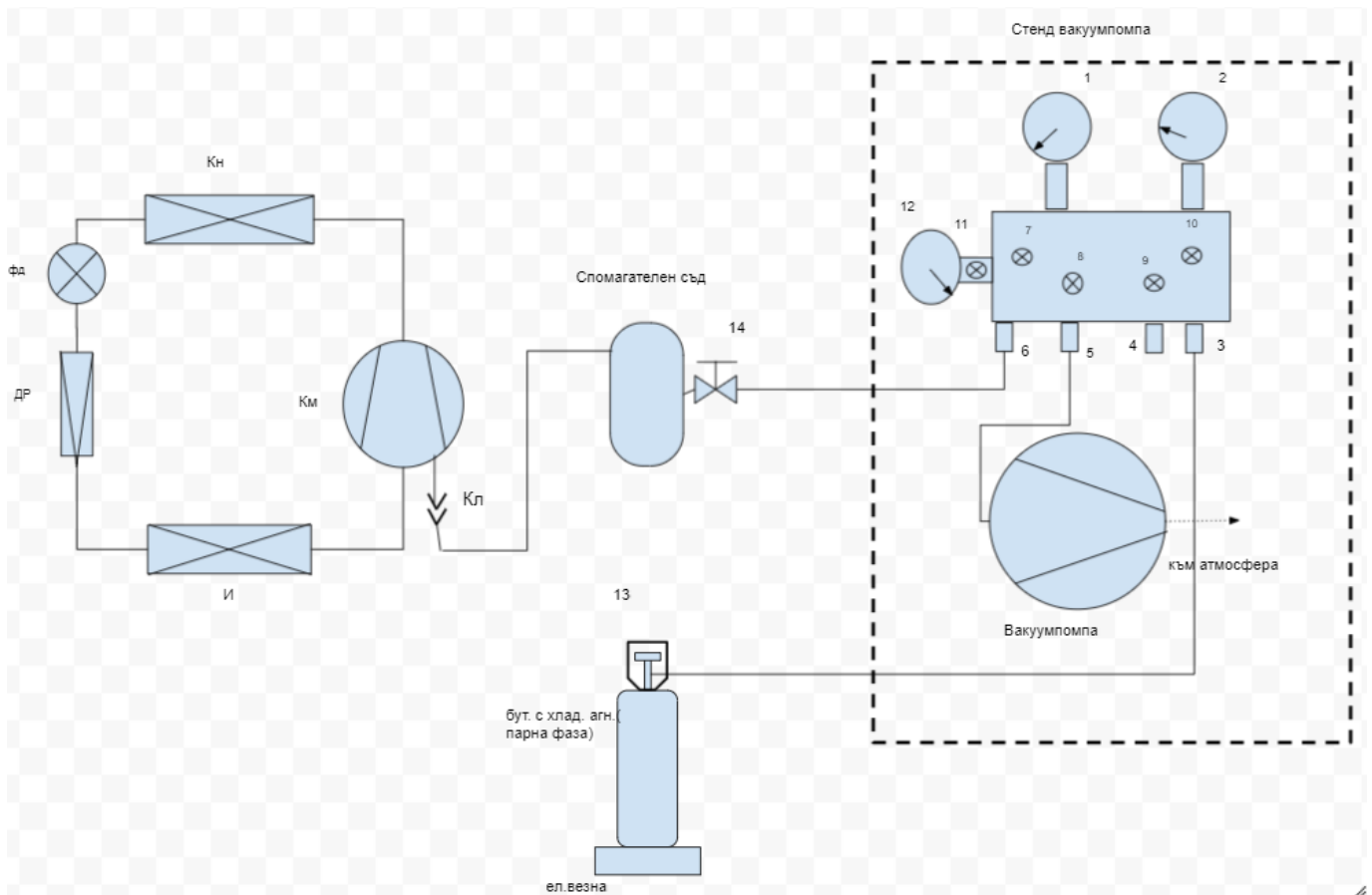
**хладилен агент**



**електронна везна**



**спомогателен съд, изпълняващ ролята на ОТ**



Км. - компресор  
Кн. - кондензатор  
Фд. - филтър дехидратор  
Др. - дроселиращ орган  
(капилярна тръба)  
И. - изпарител  
Кл. - клапан към технологичната  
тръба на компресора



№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с <b>X</b> , ако се затруднявате
1.	Проучете схемата на фиг.1 с прилежащата легенда и свържете елементите по схемата.	
2.	Опишете последователността за вакуумиране на системата, използвайки елементите от легендата.	
3.	Аргументирайте кога системата е вакуумирана и готова за зареждане.	
4.	Затворете всички вентили. Осигурете безопасността на 12.	
5.	Включете електронната везна и настройте да отчита в килограми.	
6.	Отворете вентилите по пътя на хладилния агент, започвайки от 13. Аргументирайте плавното отваряне на 13.	
7.	Отчетете количеството на хладилния агент през първия етап на зареждането под действието на $\Delta p$ , като аргументирате кога е приключил.	
8.	Включете компресора на системата, като преди това затворете 13; аргументирайте защо.	
9.	Обосновете нуждата от плавното отваряне на 13.	
10.	При достигане на зададеното количество зареден хладилен агент затворете 13.	
11.	Изчакайте системата да се стационарира (да влезе в режим) и направете извод дали тя изпълнява функцията да поддържа $t_{\text{въздух камера}} = 6^{\circ}\text{C}$ , като отчетете от 1: <ul style="list-style-type: none"><li>- налягането на изпарение – <math>p_0</math> за 134а</li><li>- температурата на изпарение – <math>t_0</math> за 134а.</li></ul>	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получе н брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Проучва схемата на фиг.1 и я реализира.	Да	2		
		Не	0		
2.	Описва последователността за вакуумиране на системата, използвайки елементите от легендата.	Да	4		
		Не	0		
3.	Аргументира кога системата е вакуумирана и готова за зареждане.	Да	6		
		Не	0		
4.	Затваря всички вентили. Осигурява безопасността на 12.	Да	6		
		Не	0		
5.	Включва електронната везна и я настройва да отчита в килограми.	Да	2		
		Не	0		
6.	Отваря вентилите по пътя на хладилния агент, започвайки от 13; аргументира плавното му отваряне.	Да	6		
		Не	0		
7.	Аргументира кога е приключил първият етап и отчита количеството на хладилен агент от везната.	Да	8		
		Не	0		
8.	Аргументира затварянето на 13 и включва компресора.	Да	4		
		Не	0		
9.	Обосновава нуждата от плавното отваряне на 13.	Да	6		
		Не	0		



<b>10.</b>	Затваря 13 при достигане на зададеното количество хладилен агент.	Да	4		
		Не	0		
<b>11.</b>	Изчаква системата да се стационарира (да влезе в режим) и прави извод дали системата би поддържала $t_{\text{въздух камера}} = 6\text{C}$ , като отчита от 1:  - налягането на изпарение – $p_0$ за 134а  - температурата на изпарение – $t_0$ за 134а.  Извод:	Да	12		
		Не	0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс.</b>	60		
		<b>мин.</b>	0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

**Ученик (имена):** .....; .....клас,

Дата: ..... (подпис)

**Преподавател:** .....

Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ



## 20. ЗАРЕЖДАНЕ НА ХЛАДИЛЕН АГЕНТ В ТЕЧНА ФАЗА, БЕЗ СУХ КОМПРЕСОР

**В този урок ще научим:**

- **къде се зарежда хладилен агент в течна фаза без сух компресор в инсталации;**
- **каква е технологичната последователност;**
- **какви мерки за безопасно зареждане трябва да се спазват.**

---

При какви системи, в които циркулира голяма количество хладилен агент (20 – 200кг. и повече), зареждането в парна фаза е бавно и неефективно. Заедно с това знаем, че зеотропните смеси трябва да се зареждат в течна фаза. Това налага много системи да се зареждат и дозареждат в течна фаза.

Следвайки логиката, че парна фаза се зарежда в системата там, където хладилният агент е в парна фаза, то в течна фаза можем да зареждаме там, където хладилният агент е в течна фаза от кондензатора до дроселиращия орган.

Но къде по-точно? За да отговорим, трябва да си припомним движещата сила при етапите на зареждане:

1. Първи етап - под действието на  $\Delta p$  до изравняване.
2. Втори етап е принудителното създаване на тази разлика с компресора на системата или предварително свързан сух компресор. При тази задача вторият етап се реализира чрез компресора на системата.

Извод: Зареждането на системата с течен хладилен агент без сух компресор се извършва в течностната линия преди дроселиращия орган (ДР), като хладилният агент се събира в линейния ресивер (ЛР).





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## НЕОБХОДИМО ОБОРУДВАНЕ:

**вакуумпомпа стенд**



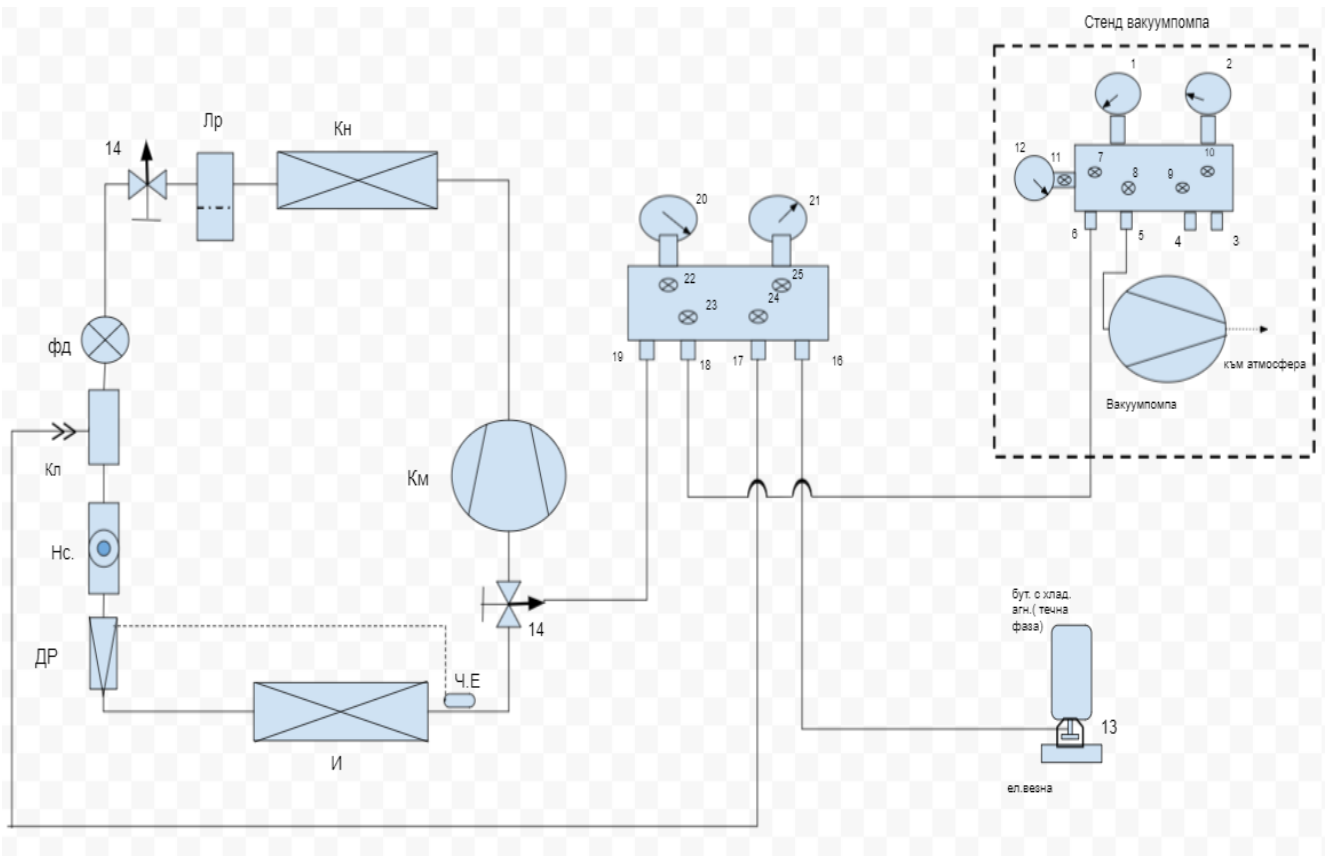
**комплект маркучи с накрайници**



**бутилка хладилен агент**

**електронна везна**





1,20 - мановакуумметър ниско налягане  
2,21 - мановакуумметър високо налягане  
3,4,5,6,16,17,18,19 - изходи на манометричните  
блокове  
7,8,9,10,11,22,23,24,25 - вентили на  
манометричните блокове  
12 - вакуумметър  
13 - вентил на бутилка с хлад.агент(течна  
фаза)  
14 - тригътни вентили

Км. - компресор  
Кн. - кондензатор  
Фд. - филтър дехидратор  
Др. - дроселиращ вентил (TRV)  
И. - изпарител  
Кл. - клапан към технологичната тръба на  
компресора  
Лр. - линейен ресивер  
Нс. - наблюдателно стъкло  
Ч.Е. - чувствителен елемент на TRV



№	Алгоритъм за извършване на пробата	Отбележете с X, ако се затруднявате
1.	Проучете схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	
2.	Свържете необходимото оборудване към системата с цел реализация на поставената задача.	
3.	Опишете последователността на вакуумиране на оборудването и системата по легендата.	
4.	Аргументирайте кога системата е вакуумирана и готова за зареждане.	
5.	Затворете вентила 22 и обосновайте защо.	
6.	Затворете вентила 14 на изхода на Л.Р. и обосновайте защо.	
7.	Затворете 23 и разкачете маркуча от 18 и обосновайте защо.	
8.	Включете електронната везна и я настройте за измерване в килограми, като затворите всичко вентили по пътя на хладилния агент, и обосновайте защо.	
9.	Отворете вентилите по пътя на хладилния агент.	
10.	Отчетете количеството хладилен агент през първия етап на зареждането по действието на Δр, като аргументирате кога е приключил първият етап.	
11.	Затворете 13, включете компресора и плавно отваряйте 13, като обосновайте защо.	
12.	Следете везната и при достигане на необходимото за системата количество хладилен агент затворете вентила на бутилката.	



13.	Осигурете циркулация на хладилния агент в системата, като се обоснове кой вентил се отваря.	
14.	Отворете вентила 22 изчакайте системата да се стационарира, направете извод по кои измервателни уреди можем да установим, че системата функционира правилно.	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Проучва схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	Да Не	2 0		
2.	Свързва необходимото оборудване към системата с цел реализация на поставената задача.	Да Не	4 0		
3.	Описва последователността на вакуумиране на оборудването и системата по легендата.	Да Не	4 0		
4.	Аргументира кога системата е вакуумирана и готова за зареждане.	Да Не	6 0		
5.	Затваря вентила 22 и обосновава защо.	Да Не	4 0		
6.	Затваря вентила 14 на изхода на ЛР и обосновава защо.	Да Не	4 0		
7.	Затваря 23 и разкачете маркуча от 18 и обосновава защо.	Да Не	4 0		
8.	Включва електронната везна и я настройва за измерване в килограми; затваря всички вентили по пътя на хладилния агент и обосновава защо	Да Не	4 0		
9.	Отваря вентилите по пътя на хладилния агент.	Да Не	4 0		



10.	Отчита количеството хладилен агент през първия етап на зареждането по действието на Др, като аргументира кога е приключил първият етап.	Да Не	4 0		
11.	Затваря 13 включва компресора и плавно отваря 13, като обосновава защо.	Да/Не Да/Не	4 0		
12.	Следи везната и при достигане на необходимото за системата количество хладилен агент затваря вентила на бутилката.	Да Не	2 0		
13.	Осигурява циркулация на хладилния агент в системата, като обосновава кой вентил се отваря	Да Не	4 0		
14.	Отворете вентила 22 изчакайте системата да се стационарира. Направете извод по кои измервателни уреди можем да установим, че системата функционира правилно.	Да Не	10 0		
	<b>Общ брой точки:</b>	<b>макс.</b> <b>мин.</b>	60 0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

**Ученик (имена):** .....; .....клас,

Дата: .....

(подпис)

**Преподавател:** .....

Оценка: .....

(подпис)

Има нужда от допълнително обучение.

Срок: .....





## 21. ЗАРЕЖДАНЕ НА ХЛАДИЛЕН АГЕНТ В ТЕЧНА ФАЗА СЪС СУХ КОМПРЕСОР

В този урок ще научим:

- къде се зарежда хладилен агент в течна фаза със сух компресор;
- каква е технологичната последователност;
- какви мерки за безопасност трябва да се спазват.

В системи, в които количеството хладилен агент е голямо или много голямо, за бързото реализиране на зареждането се предпочита използването на сух компресор.

В този случай, независимо от вида на хладилния агент и неговото количество, зареждаме инсталацията в спомагателния елемент линеен ресивер (ЛР).

Добавеният в комплектовката *сух компресор* е стенд, в който компресорът няма маслен картер, което позволява на хладилния агент да се засмуква и нагнетява както в парна, така и в течна фаза.

### НЕОБХОДИМИ ИНСТРУМЕНТИ И МАТЕРИАЛИ:

вакуумпомпа стенд



сух компресор



комплект маркучи

с накрайници





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



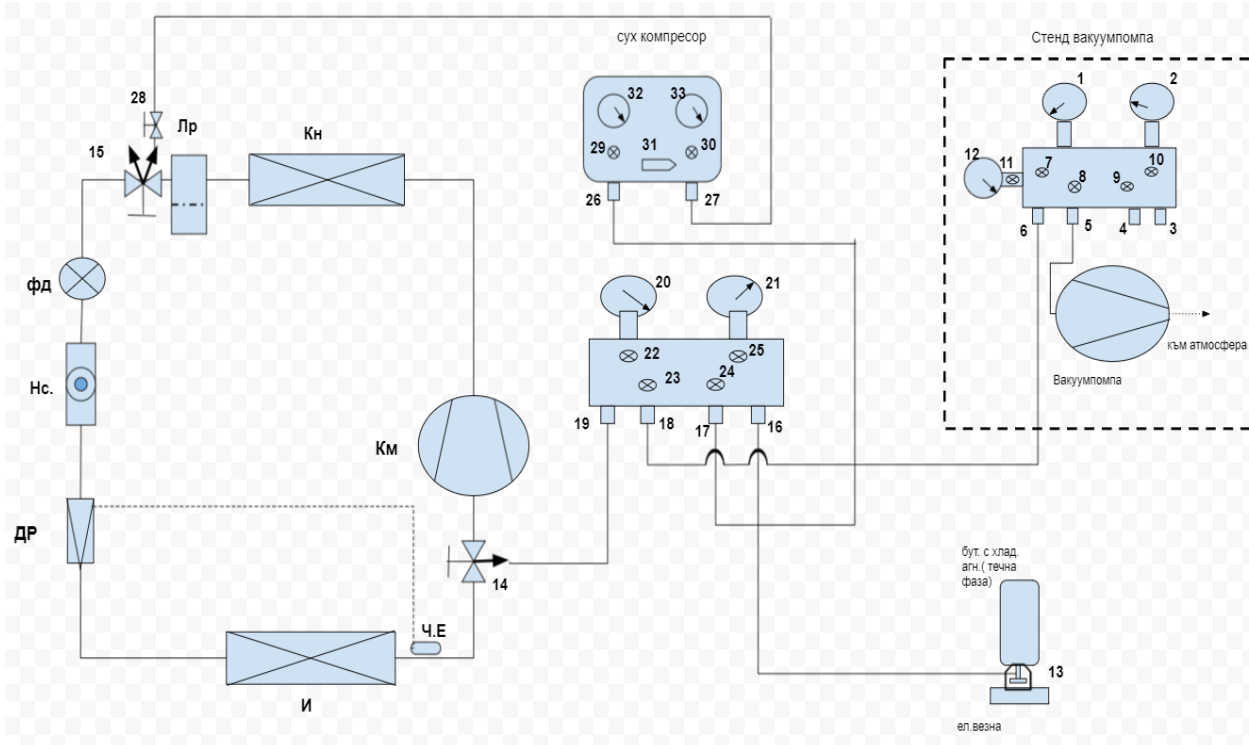
ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

### бутилка хладилен агент



### електронна везна





- 1,20 - мановакуумметър ниско налягане  
2,21 - мановакуумметър високо налягане  
3,4,5,6,16,17,18,19 - изходи на манометричните блокове  
7,8,9,10,11,22,23,24,25 - вентили на манометричните блокове  
12 - вакуумметър  
13 - вентил на бутилка с хлад.агент(течна фаза)  
14 - трипътен вентил  
15 - четирипътен вентил  
26 - вход на сух компресор  
27 - изход на сух компресор  
28 - двупътен вентил (комплект маркуч с вентил)  
29 - вентил на смукателна страна сух компресор  
30 - вентил на нагнетателна страна сух компресор  
31 - вентил за байпасна линия  
32 - мановакуумметър смукателна страна  
33 - манометър нагнетателна страна

- Км. - компресор  
Кн. - кондензатор  
Фд. - филтър дехидратор  
Др. - дроселиращ вентил (ТРВ)  
И. - изпарител  
Лр. - линейен ресивер  
Нс. - наблюдателно стъкло  
Ч.Е. - чувствителен елемент на ТРВ



№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с X, ако се затруднявате
1.	Проучете схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	
2.	Свържете необходимото оборудване към системата с цел реализиране на поставената задача.	
3.	Опишете последователността на вакуумиране на оборудването и системата по легендата, като включите 31 (байпасна линия) и обосновеете защо.	
4.	Аргументирайте кога системата е вакуумирана и готова за зареждане.	
5.	Затворете 14,15 и 22 като обосновеете защо.	
6.	Затворете 23 и демонтирайте маркуча от 18 и обосновеете защо.	
7.	Включете електронната везна и я настройте за измерване в килограми; затворете всички вентили по пътя на хладилния агент и обосновеете защо.	
8.	Отворете вентилите по пътя на хладилния агент.	
9.	Отчетете количеството хладилен агент през първия етап на зареждането по действието на $\Delta p$ , като аргументирате кога е приключил първият етап.	
10.	Затворете 29 и позиционирайте 31 за засмукване и нагнетяване и обосновеете защо.	
11.	Включете сухия компресор и бавно отваряйте 29; обосновеете защо.	
12.	Следете везната и при достигане на необходимото за системата количество хладилен агент затворете вентила на бутилката.	



13.	Затворете 25, след като прецените по 21, че е достигнат максималният вакуум.	
14.	Затворете 24 завъртете 31 два пъти последователно (с цел самоотчитане обема на вентила от хладилен агент).	
15-	Затворете 29, след като прецените по 32, че е достигнат максималният вакуум.	
16.	Затворете 28, изключете сухия компресор и затворете 30.	
17.	Отворете 15 с цел осигуряване на циркулация на хладилния агент след ЛР.	
18.	Отворете 14 и включете компресора на системата.	
19.	Отворете вентила 22, изчакайте системата да се стационарира и направете извод по кои измервателни уреди можем да установим, че системата функционира правилно.	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднени я при
		Да	Не		
1.	Проучва схемата на фиг.1 с прилежащата легенда.	Да	2		
		Не	0		
2.	Свързва необходимото оборудване към системата с цел реализиране на поставената задача.	Да	2		
		Не	0		
3.	Описва последователността на вакуумиране на оборудването и системата по легендата, като включва 31 (байпасна линия) и обосновава защо.	Да	4		
		Не	0		
4.	Аргументира кога системата е вакуумирана и готова за зареждане.	Да	4		
		Не	0		
5.	Затваря 14, 15 и 22, като обосновава защо.	Да	4		
		Не	0		
6.	Затваря 23 и демонтира маркуча от 18 и обосновава защо.	Да	4		
		Не	0		
7.	Включва електронната везна и я настройва за измерване в килограми; затваря всички вентили по пътя на хладилния агент, като обосновава защо.	Да	2		
		Не	0		
8.	Отваря вентилите по пътя на хладилния агент.	Да	2		
		Не	0		



9.	Отчита количеството хладилен агент през първия етап на зареждането по действието на Δр, като аргументира кога е приключил първият етап.	Да Не	4 0		
10.	Затваря 29 и позиционира 31 за засмукване и нагнетяване и обосновава защо.	Да Не	4 0		
11.	Включва сухия компресор и бавно отваря 29, като обосновава защо.	Да Не	2 0		
12.	Следи везната и при достигане на необходимото за системата количество хладилен агент затваря вентила на бутилката.	Да Не	2 0		
13.	Затваря 25, след като прецени по 21, че е достигнат максималният вакуум.	Да Не	4 0		
14.	Затваря 24 завърта 31 два пъти последователно.	Да Не	2 0		
15.	Затваря 29, след като прецени по 32, че е достигнат максималният вакуум.	Да Не	2 0		
16.	Затваря 28, изключва сухия компресор и затваря 30.	Да Не	2 0		
17.	Отваря 15 с цел да осигури циркулация на хладилния агент след ЛР.	Да Не	2 0		
18.	Отваря 14 и включва компресора на системата.	Да Не	2 0		





19.	Отваря вентил 22, изчаква системата да се стационарира и прави извод по кои измервателни уреди може да установи, че системата функционира правилно.  Извод:	Да	10		
		Не	0		
<b>Общ брой точки:</b>		<b>макс.</b>	60		
		<b>мин.</b>	0		

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

**Ученик** (имена): .....; .....клас,  
Дата: ..... (подпис)

**Преподавател:** .....  
Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



## 22. ЕЛЕКТРИЧЕСКА ДИАГНОСТИКА НА ХЛАДИЛНИТЕ СИСТЕМИ

В този урок ще научим:

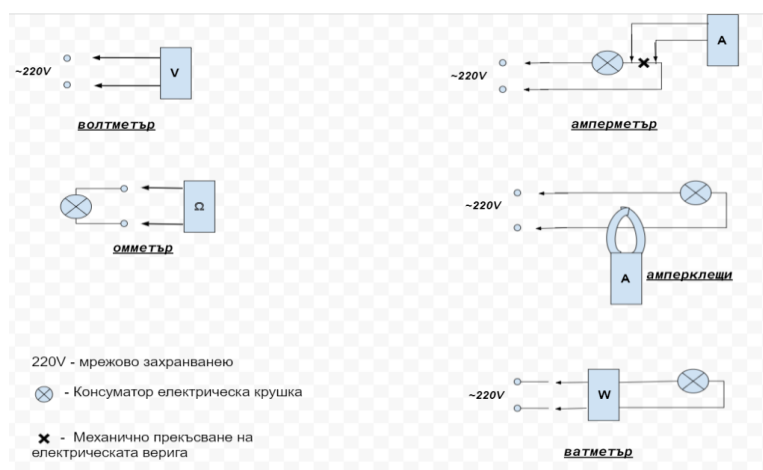
- кои електрически параметри измерваме, за да направим диагностика;
- каква е техниката на измерване и измервателните уреди за съответните параметри;
- връзката между електрическите параметри и нормалната работа на хладилния компресор.

В процеса на експлоатация на хладилните системи настъпват повреди както по електрическата инсталация, така и по агрегата на компресорната хладилна машина. Ако повредите са по електрическата част, то те се откриват по-лесно, с по-достъпни измервателни уреди, като не се налага разхерметизиране. За целта е необходимо да знаем:

- кои са основните електрически параметри
- уредите за измерване
- правилата при измерване

ЕЛ. ПАРАМЕТРИ И МЕРНИ ЕДИНИЦИ	УРЕДИ
Напрежение U [V]	Волтметър
Ток I [A]	Амперметър и ампер клещи (при променлив ток)
Съпротивление R [ $\Omega$ ]	Омметър
Мощност P [W]	Ватметър (може да се изчисли) $P=U \cdot I$ (при активен товар); $P=U \cdot I \cdot \cos\phi$ (при реактивен товар)

НЕОБХОДИМИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ:





- Волтметър
  - Амперметър
  - Омметър
  - Волтметър
  - Стенд за извършване на измервания
- } или мултимер

### ампер клещи

волтметър



аналогови

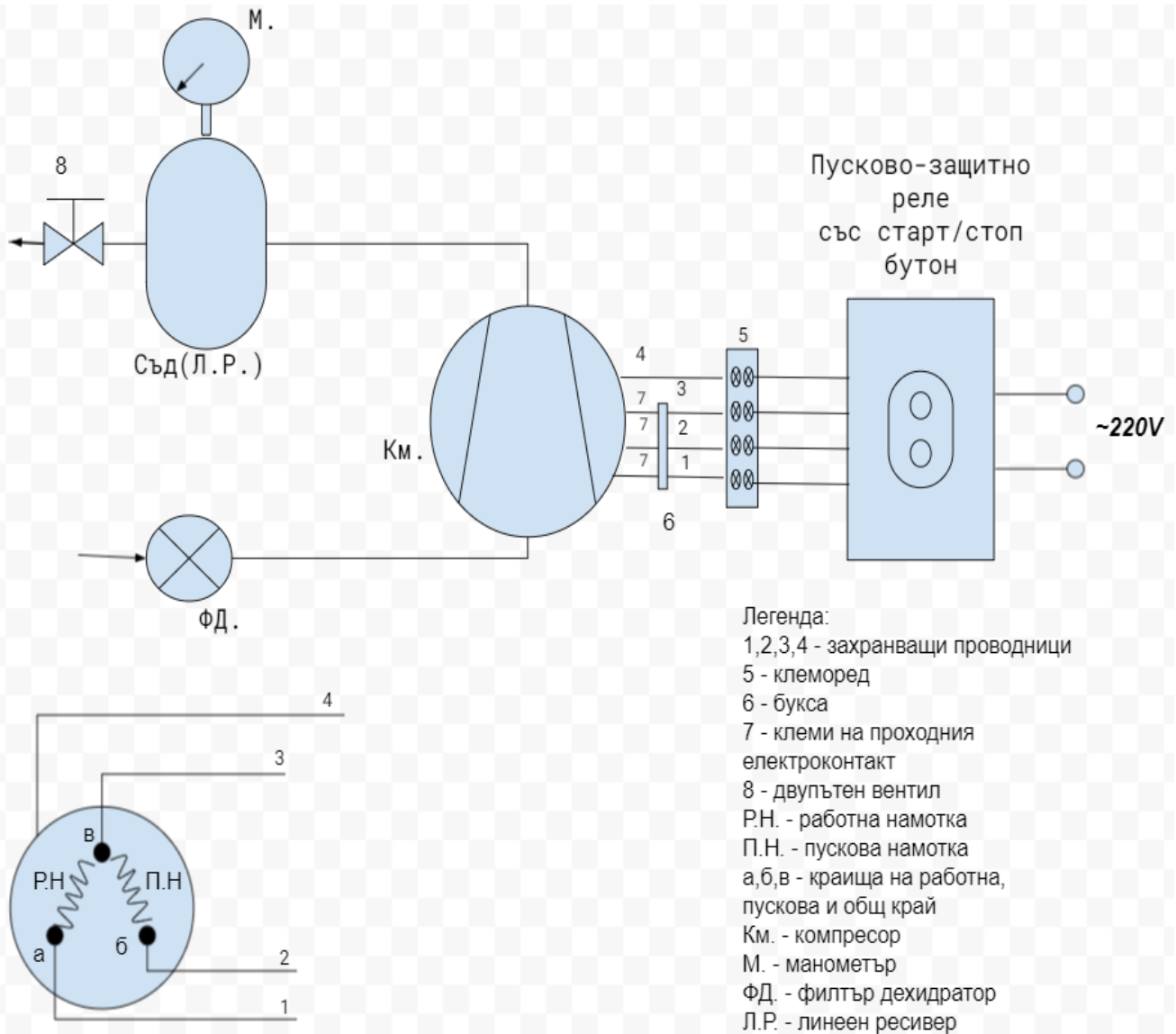


цифрови



амперметър







№	Алгоритъм (стъпка по стъпка)	Отбележете с <b>X</b> , ако се затруднявате
1.	Проучете схемата на фиг.1 и фиг.2. с прилежащата легенда.	
2.	Демонтирайте б от проходния електроконтакт.	
3.	Направете необходимия брой измервания на съпротивленията в краищата а,б,в. Запишете и направете анализ на измерените стойности на съпротивленията и докажете, че местата на Р.Н и П.Н са правилно отбелязани на фиг. 2.	
4.	По извода от анализа в точка 3 обосновайте коя двойка захранващи проводници 1,2,3 се явяват краища на П.Н и Р.Н.	
5.	Измерете захранващото напрежение в контакта и го запишете $U=?$ .	
6.	Монтирайте б на проходния електроконтакт.	
7.	Отворете 8 и включете компресора със старт/стоп бутона.	
8.	Измерете с ампер клещи пусковия ток, преминаващ през 3; запишете стойността ( $I_{\text{пусково}}=?$ ) и обосновайте защо измерваме от 3.	
9.	Изключете компресора от старт/стоп бутона.	
10.	Включете компресора от старт/стоп бутона и измерете работния (номиналния) ток, като предложите на кой проводник ще монтираме ампер клещите. Запишете отчетената стойност $I_{\text{работно}}=?$	
11.	Изключете компресора и обосновайте защо $I_{\text{пусково}} \gg I_{\text{работно}}$ .	
12.	Затворете 8. Монтирайте ампер клещите на захранващия проводник на Р.Н; включете старт/стоп бутона на компресора и отчетете работния ток при наляганя по М.:  - $2 \text{ Var} - I_{\text{работно}} = ?$	



	<ul style="list-style-type: none"><li>- 5 Bar - <math>I_{\text{работно}} = ?</math></li><li>- 8 Bar - <math>I_{\text{работно}} = ?</math></li><li>- 10 Bar - <math>I_{\text{работно}} = ?</math></li><li>- 12 Bar - <math>I_{\text{работно}} = ?</math>.</li></ul>	
13.	Направете анализ как се променя $I_{\text{работно}}$ с нарастването на налягането на нагнетателната страна на компресора.	
14.	Изключете Км. от старт/стоп бутона и след 2 секунди пак го стартирайте; обосновайте защо компресорът не работи и кой изключва захранването му.	
15.	Изчислете консумираната от компресора мощност при измерени $U$ , „ $I_{\text{работно}}$ “ при 10Bar и при $\cos\varphi=0,75$ ; сравнете изчислена стойност с номиналната стойност на компресора от табелата и направете извод за годността на компресора.	



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Бяло поле за творчески полет на ученическата мисъл



**начало**



**край**



### Критерии за самооценка/ взаимно оценяване и еталон на верния отговор

№	Критерии за оценка	Показател / Брой точки		Получен брой точки	Срещнах затруднения при
		Да	Не		
1.	Проучва схемата на фиг.1 и фиг.2. с прилежащата легенда.	Да	2		
		Не	0		
2.	Демонтира б от проходния електро контакт	Да	2		
		Не	0		
3.	Прави необходимия брой измервания на съпротивленията в краищата а,б,в. Записва и прави анализ на измерените стойности на съпротивленията и доказва, че местата на Р.Н и П.Н са правилно отбелязани на фиг.2.	Да	6		
		Не	0		
4.	По извода от анализа в точка 3 обосновава коя двойка захранващи проводници 1,2,3 се явяват краища на П.Н и Р.Н.	Да	4		
		Не	0		
5.	Измерва захранващото напрежение в контакта и го записва $U=?$	Да	2		
		Не	0		
6.	Монтира б на проходния електроконтакт.	Да	2		
		Не	0		
7.	Отваря 8 и включва компресора със старт/стоп бутона.	Да	2		
		Не	0		
8.	Измерва с амперклеци пусковия ток, преминаващ през 3 записва стойността( $I_{\text{пусково}}=?$ ) и обосновава защо измерваме от 3.	Да	6		
		Не	0		
9.	Изключва компресора от старт/стоп бутона.	Да	2		





		Не	0		
10.	Включва компресора от старт/стоп бутон и измерва работния (номиналния) ток, като предлага на кой проводник ще монтираме ампер клещите. Записва отчетната стойност $I_{\text{работно}}=?$ .	Да Не	6 0		
11.	Изключва компресора и обосновава защо $I_{\text{пусково}} \gg I_{\text{работно}}$ .	Да Не	4 0		
12.	Затваря 8. Монтира ампер клещите на захранващия проводник на Р.Н., включва старт/стоп бутон на компресора и отчита работния ток при налягания по М.:  - 2 Bar - $I_{\text{работно}}=?$ - 5 Bar - $I_{\text{работно}}=?$ - 8 Bar - $I_{\text{работно}}=?$ - 10 Bar - $I_{\text{работно}}=?$ - 12 Bar - $I_{\text{работно}}=?$	Да Не	4 0		
13.	Прави анализ как се променя $I_{\text{работно}}$ с нарастването на налягането на нагнетателната страна на компресора.	Да Не	4 0		
14.	Изключва компресора от старт/стоп бутон и след 2 секунди пак го стартира и обосновава защо компресора не работи и кой изключва захранването му.	Да Не	6 0		
15.	Изчислява консумираната от компресора мощност при измерените „U” и „ $I_{\text{работно}}$ “ при 10Bar и при $\cos\varphi=0,75$ сравнява изчислена стойност с номиналната стойност на компресора от табелата и прави извод за годността на компресора.	Да Не	8 0		
	<b>Общ брой точки:</b>	<b>мак с.</b>	60		



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

		<b>мин.</b>	0		
--	--	-------------	---	--	--

Получен брой точки и оценка	Моята оценка е:
60 - 55 = Отличен (6)	
54 - 45 = Много добър (5)	
44 - 35 = Добър (4)	
34 - 31 = Среден (3)	
30 - 0 = Слаб (2)	

**Ученик** (имена): .....; .....клас

Дата: ..... (подпис)

**Преподавател:** .....

Оценка: ..... (подпис)

Има нужда от допълнително обучение. Срок: .....



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ  
ЕВРОПЕЙСКИ  
СОЦИАЛЕН ФОНД



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА  
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА  
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

## Литература:

РЕГЛАМЕНТ (ЕС) № 517/2014 НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА от 16 април 2014 година за флуорсъдържащите парникови газове и за отмяна на Регламент (ЕО) № 842/2006

ASHRAE. (2018). *ASHRAE Handbook – Refrigeration (SI Edition)*. Atlanta, GA.

Balmer, R., (2011). *Modern Engineering Thermodynamics*. Burlington, MA: Academic Press.

Breidenbach, K. (2010). *Der Kälteanlagenbauer Band 1: Grundkenntnisse*. VDE VERLAG GMBH. Berlin. Offenbach.

Breidenbach, K. (2010). *Der Kälteanlagenbauer Band 2: Grundlagen der Kälteanwendung*. VDE VERLAG GMBH. Berlin. Offenbach

Dinçer, I., (2017). *Refrigeration Systems and Applications*. 3rd ed. John Wiley & Sons.

Hundy, G., (2016). *Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps*. 5th ed. Elsevier Science.

Lemmon, E.W., Bell, I.H., Huber, M.L., McLinden, M.O. (2018). *NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 10.0*, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg.

Micallef, D., (2014). *Fundamentals of Refrigeration Thermodynamics*. 1st ed. bookboon.com.

Sidel, R. and Noack, H. (2011). *Der Kältemonteur*. VDE VERLAG GMBH. Berlin. Offenbach