

ՄԻԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ՄԱՌՆԱՐԱՆԱՅԻՆ ՑԻԿԼՈՒՄ ՌԵԳԵՆԵՐԱՑԻՈՆ ՋԵՐՄԱՓՈԽԱՆԱԿՉԻ  
ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՄԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Կարեն Աշոտի Մովսիսյան

Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ  
*karen.movsisyan1999@gmail.com*

Հետազոտության նպատակն է ուսումնասիրել միաստիճանային սառնարանային ցիկլում ռեգեներացիոն ջերմափոխանակչի կիրառման ազդեցությունները: Հաշվարկների միջոցով ուսումնասիրվել են գերտաքացման և գերսառեցման ազդեցությունները ցրտարտադրողականության վրա, ստացվել են աղյուսակներ, որոնք արտահայտում են գերտաքացման և գերսառեցման ազդեցությունները՝ կախված գոլորշիացման և կոնդենսացման ջերմաստիճաններից: Հետազոտությունները հնարավորություն են տալիս արդյունավետ գնահատել ջերմափոխանակչի դերը սառնարանային տեղակայանքներում: Դիտարկվել է ռեգեներացիոն ջերմափոխանակչի կիրառումը տարբեր սառնազենտներով, աղյուսակներով ներկայացված են սառնարանային մեքենաների արդյունավետության գնահատման պարամետրերի փոփոխությունները: Հողվածում բերված են նաև ռեգեներացիոն ջերմափոխանակչի կիրառման դրական և բացասական կողմերը:

**Բանալի բառեր.** ռեգեներացիոն ջերմափոխանակիչ, սառնարանային տեղակայանք, գոլորշիացուցիչ, կոմպրեսոր, գերտաքացում, գերսառեցում

### Ներածություն

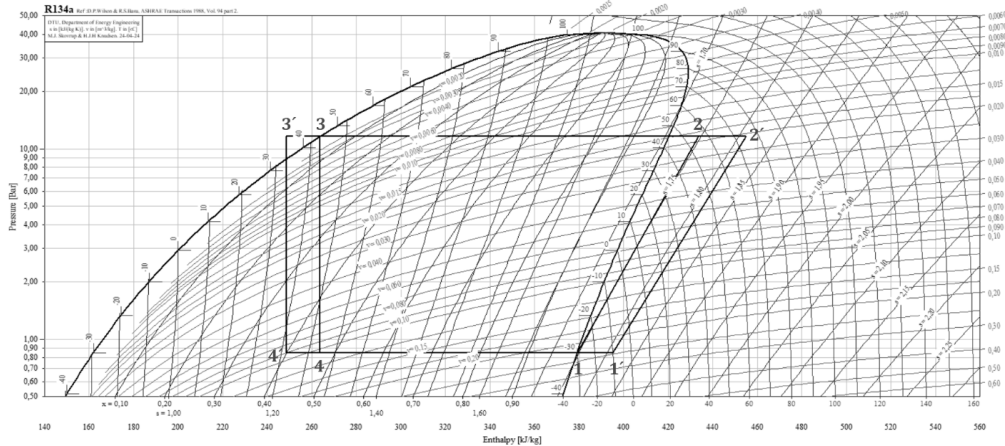
Հողվածում դիտարկվել է սառնարանային մեքենաների միաստիճանային ցիկլում տարբեր սառնազենտների համար ջերմության վերաօգտագործիչով ջերմափոխանակչի կիրառման արդյունավետությունը:

Ջերմության վերաօգտագործման գաղափարը լայնորեն կիրառվում է ցածր և միջին հզորության սառնարանային մեքենաներում: Ջերմափոխանակիչները կիրառվում են՝ ելնելով էներգաարդյունավետությունից և շահագործման անվտանգությունից: Այն ունի մի շարք դրական ազդեցություններ, որոնցից կարելի է առանձնացնել, որ ջերմափոխանակիչը պաշտպանում է կոմպրեսորը թաց ընթացքից, եթե այն գտնվում է կոմպրեսորից բարձր, հեշտացնում է յուղի վերադարձը յուղորսիչ, բացի այդ մեծանում է սառնազենտների և յուղի լուծման գործակիցը [1-3]:

### Նյութեր և մեթոդներ

Լայն տարածում ունի այն պնդումը, որ ջերմափոխանակչում գերտաքացումը ռեգեներացիոն ջերմափոխանակմամբ կայանքներում ունի որոշակի օպտիմալ արժեք, որին համապատասխանում է առավելագույն սառնարանային գործակից: Այս պնդումը ստուգելու համար հաշ-

վարկվել և վերլուծվել է պարզ միաստիճան ցիկլը՝ ջերմափոխանակիչը կիրառելով տարբեր սառնագենտների համար: Հետազոտությունները կատարվել են, ընդունելով հետևյալ հաշվարկային պարամետրերը. կոնդենսացման ջերմաստիճանը՝  $t_k=+45\text{ }^\circ\text{C}$  (318 Կ), գոլորշիացման ջերմաստիճանը՝  $t_o=-5\dots-40\text{ }^\circ\text{C}$  (268...233 Կ), ջերմափոխանակչում գոլորշու գերտաքացումը վերականգնող ջերմափոխանակմամբ (ՋՓ) ընդունվել է  $\Delta t_{\text{ջփ}}=20\text{ }^\circ\text{C}$  (նկ. 1) [4]:

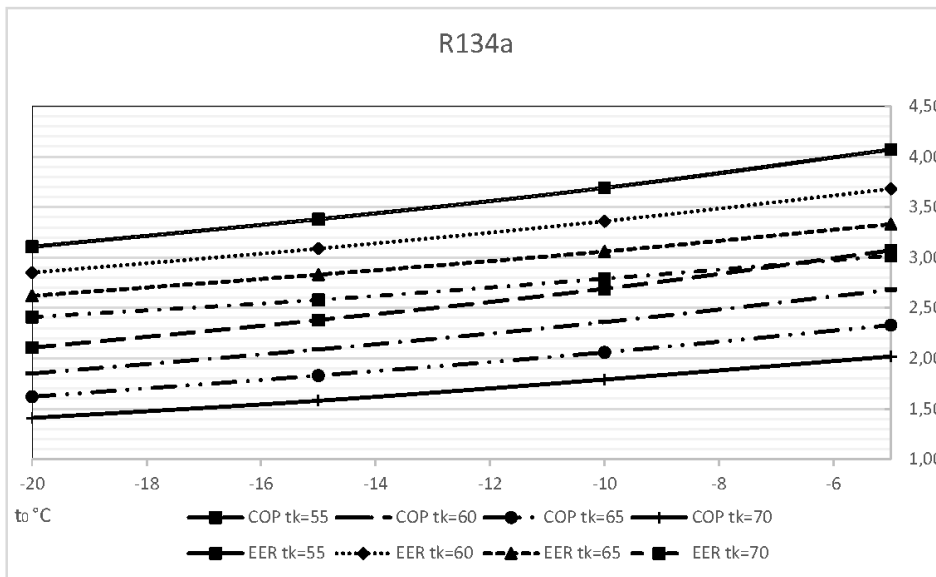


Նկ. 1. Սառնարանային մեքենայի աշխատանքային ցիկլը (պարզ 1-2-3-4, ջերմափոխանակչով՝ 1'-2'-3'-4')

Գերտաքացման 3' կետի դիրքը որոշվում է ՋՓ-ի ջերմային հաշվեկշռի հավասարումից՝ ըստ ՋՓ -ում գոլորշու հանձնարարված գերտաքացմամբ [5-8]:

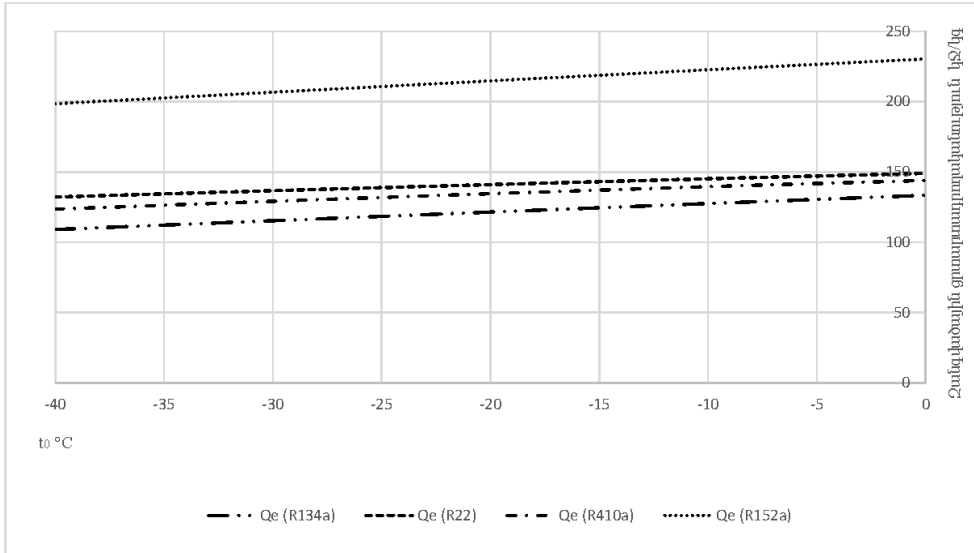
$$\Delta t_{\text{ջփ}} = t_1 - t_{1'} \tag{1}$$

Նկ. 2-ում պատկերված է վերափոխման գործակիցների՝ COP և EER կախումը գոլորշիացման  $t_o$  ջերմաստիճանից՝ R134a սառնագենտի համար:

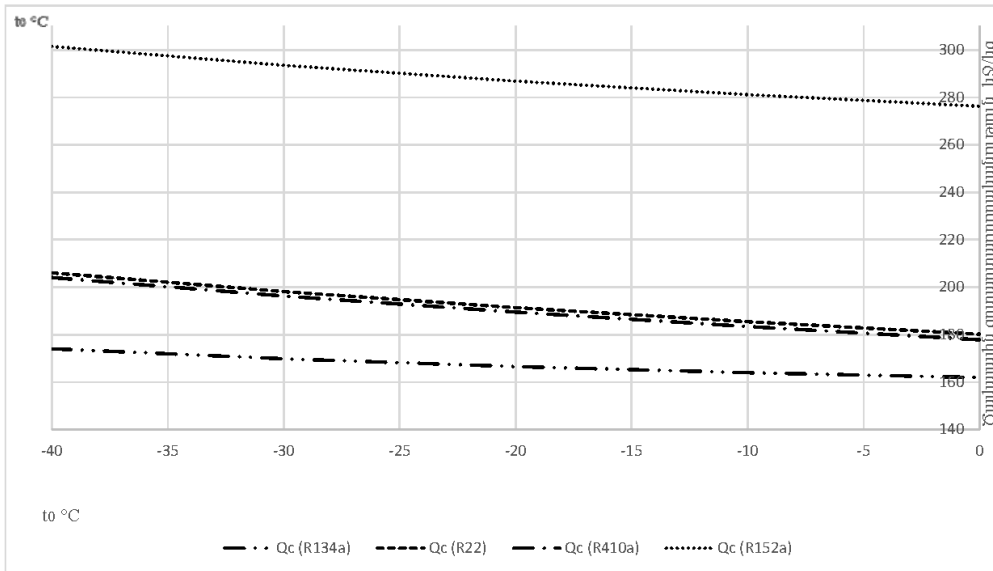


Նկ. 2. Վերափոխման COP և EER գործակիցների կախումը գոլորշիացման  $t_o$  ջերմաստիճանից

Նկ. 2-ից հետևում է, որ որքան գոլորշիացման ջերմաստիճանը մեծանում է, այնքան սառնարանային տեղակայանքի վերափոխման COP և EER գործակիցները մեծանում են:



**Նկ. 3. Զանգվածային ցրտարտադրողականության կախումը գոլորշիացման ջերմաստիճանից,  $t_k = 45^\circ\text{C}$**



**Նկ. 4. Ծավալային ցրտարտադրողականության կախումը գոլորշիացման ջերմաստիճանից,  $t_k = 45^\circ\text{C}$**

Հաշվարկների միջոցով ստացվել են աղյուսակներ (աղ. 1 ա, բ,) (տվյալ դեպքում դիտարկվել է R134a սառնագենտը), որում ներկայացված են վերափոխման COP և EER գործակիցների արժեքները հաստատուն կոնդենսացման ջերմաստիճանի ( $t_k=55^\circ\text{C}$ ,  $t_k=60^\circ\text{C}$ ,  $t_k=65^\circ\text{C}$ ,  $t_k=70^\circ\text{C}$ ) և փոփոխական գոլորշիացման, գերսառեցման, գերտաքացման ջերմաստիճանների դեպքում: Տվյալ աղյուսակները դարձնում են պատկերավոր գերսառեցման և գերտաքացման ջերմաստիճանների փոփոխությունների ազդեցությունը ջերմային պոմպի սառնարանային գործակիցների վրա, որոնք հանդիսանում են ջերմային պոմպը բնութագրող առանցքային մեծությունները:

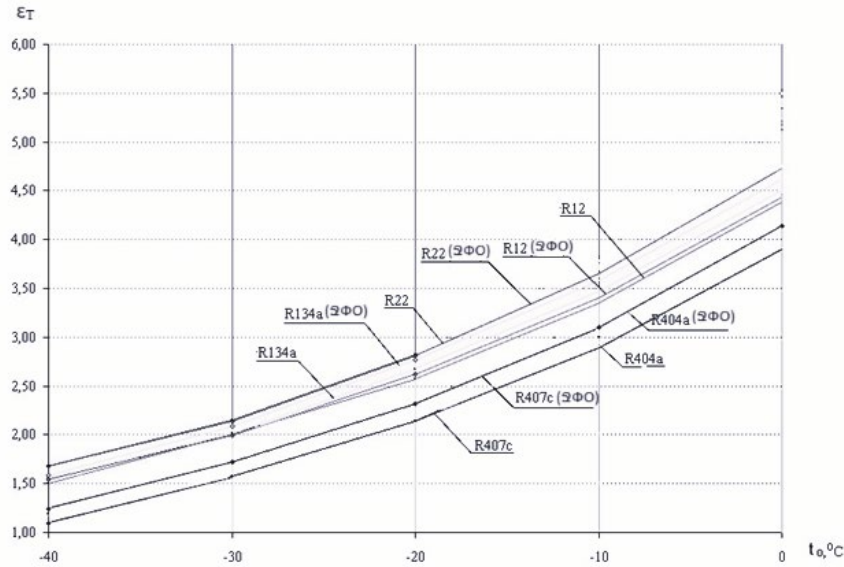
Աղյուսակ 1

Վերափոխման COP և EER գործակիցների կախվածությունը զերտաքսցման, գերսառեցման և գոլորշիացման ու կոնդենսացման ջերմաստիճաններից ( $t_o$ ,  $t_k$ ).  
ա) զերտաքսցումով ( $t_{qu}$ )

$t_o$	R134a									
	COP					EER				
	$t_k=55\text{ }^\circ\text{C}$									
	$t_{qu}=0$	$t_{qu}=5$	$t_{qu}=10$	$t_{qu}=15$	$t_{qu}=20$	$t_{qu}=0$	$t_{qu}=5$	$t_{qu}=10$	$t_{qu}=15$	$t_{qu}=20$
-20	2,11	2,13	2,16	2,18	2,21	3,11	3,13	3,16	3,18	3,21
-15	2,38	2,41	2,43	2,46	2,49	3,38	3,41	3,43	3,46	3,49
-10	2,69	2,72	2,75	2,78	2,81	3,69	3,72	3,75	3,78	3,81
-5	3,07	3,1	3,13	3,16	3,19	4,07	4,1	4,13	4,16	4,19
	$t_k=60\text{ }^\circ\text{C}$									
-20	1,85	1,88	1,91	1,94	1,96	2,85	2,88	2,91	2,91	2,96
-15	2,09	2,12	2,15	2,18	2,21	3,09	3,12	3,15	3,18	3,21
-10	2,36	2,39	2,42	2,45	2,48	3,36	3,39	3,42	3,45	3,48
-5	2,68	2,71	2,74	2,78	2,81	3,68	3,71	3,74	3,78	3,81
	$t_k=65\text{ }^\circ\text{C}$									
-20	1,62	1,65	1,68	1,71	1,74	2,62	2,65	2,68	2,71	2,74
-15	1,83	1,86	1,89	1,92	1,95	2,83	2,86	2,89	2,92	2,95
-10	2,06	2,09	2,13	2,16	2,19	3,06	3,09	3,13	3,16	3,19
-5	2,33	2,37	2,4	2,44	2,47	3,33	3,37	3,4	3,44	3,47
	$t_k=70\text{ }^\circ\text{C}$									
-20	1,41	1,44	1,47	1,5	1,53	2,41	2,44	2,47	2,5	2,53
-15	1,58	1,62	1,65	1,69	1,72	2,58	2,62	2,65	2,69	2,72
-10	1,79	1,82	1,86	1,89	1,93	2,79	2,82	2,86	2,89	2,93
-5	2,02	2,06	2,1	2,13	2,17	3,02	3,06	3,1	3,13	3,17

բ) գերսառեցումով ( $t_{qu}$ )

$t_o$	R134a							
	COP				EER			
	$t_k=55\text{ }^\circ\text{C}$							
	$t_{qu}=0$	$t_{qu}=5$	$t_{qu}=7$	$t_{qu}=10$	$t_{qu}=0$	$t_{qu}=5$	$t_{qu}=7$	$t_{qu}=10$
-20	2,11	2,26	2,33	2,42	3,11	3,26	3,33	3,42
-15	2,38	2,55	2,62	2,72	3,38	3,55	3,62	3,72
-10	2,69	2,88	2,96	3,07	3,69	3,88	3,96	4,07
-5	3,07	3,28	3,36	3,48	4,07	4,28	4,36	4,48
	$t_k=60\text{ }^\circ\text{C}$							
-20	1,85	2,01	2,07	2,16	2,85	3,01	3,07	3,16
-15	2,09	2,26	2,32	2,42	3,09	3,26	3,32	3,42
-10	2,36	2,54	2,62	2,72	3,36	3,54	3,62	3,72
-5	2,68	2,88	2,96	3,08	3,68	3,88	3,96	4,08
	$t_k=65\text{ }^\circ\text{C}$							
-20	1,62	1,77	1,83	1,92	2,62	2,77	2,83	2,92
-15	1,83	1,99	2,05	2,15	2,83	2,99	3,05	3,15
-10	2,06	2,24	2,31	2,41	3,06	3,24	3,31	3,41
-5	2,33	2,53	2,60	2,72	3,33	3,53	3,60	3,72
	$t_k=70\text{ }^\circ\text{C}$							
-20	1,41	1,56	1,62	1,70	2,41	2,56	2,62	2,70
-15	1,58	1,75	1,81	1,90	2,58	2,75	2,81	2,90
-10	1,79	1,96	2,03	2,13	2,79	2,96	3,03	3,13
-5	2,02	2,21	2,29	2,40	3,02	3,21	3,29	3,40



Նկ. 5. Տեսական սառնարանային գործակցի՝  $\epsilon_T$ -ի կախվածությունը գոլորշիացման  $t_a$  ջերմաստիճանից, երբ  $t_a = 45^\circ\text{C}$  (318 Կ)

Ինչպես երևում է կորերից, տրված կախվածությունները (նկ.1-5) դիտարկվող  $t_a$  տիրույթում ( $\Delta t_{\text{գփ}}=20$  Կ) չունեն առավելագույն կամ նվազագույն արժեքներ:

**Արդյունքներ և քննարկում**

Սառնարանային տեղակայանքում ռեգեներացիոն ջերմափոխանակչի կիրառման հետևանքով տեղի ունեցող փոփոխությունները ներկայացված է աղ-2-ում:

**Աղյուսակ 2**

*Սառնարանային տեղակայանքում ջերմափոխանակչի կիրառման հետևանքով տեղի ունեցող փոփոխությունները.*

*ա) Տեսական ծավալային ցրտարտադրողականության աճը՝  $q_v$*

Ֆրեոնի տեսակը	Տեսական ծավալային ցրտարտադրողականության աճը՝ $q_v$ , %
R404a	4,5
R134a	1,8
R12	0,8
R407c	0,3

*բ) Տեսական զանգվածային ցրտարտադրողականության աճը՝  $q_o$*

Ֆրեոնի տեսակը	Տեսական զանգվածային ցրտարտադրողականության աճը՝ $q_o$ , %
R404a	14
R134a	12
R407c	10
R22	8
R12	10

*գ) Տեսական սառնարանային գործակցի աճը*

Ֆրեոնի տեսակը	Տեսական սառնարանային գործակցի աճը, %
R404a	2,2...4,6
R134a	1,1...3,2
R12	1,0

*դ) Տեսական սառնարանային գործակցի նվազումը*

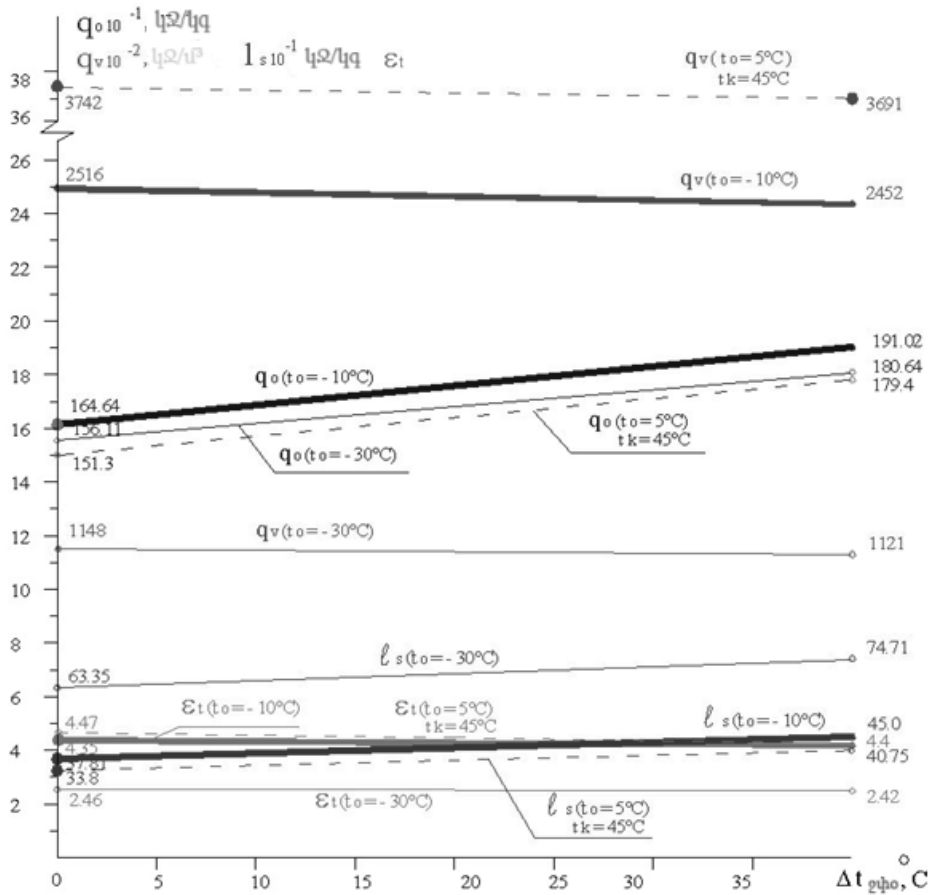
Ֆրեոնի տեսակը	Տեսական սառնարանային գործակցի նվազումը, %
R717	4,5
R22	1,1...1,8
R407c	0,5

R22 սառնագենտի համար որոշվում է ՋՓ-ում գերտաքացման ազդեցությունը ( $\Delta t_{\text{գի}} = 0 \dots 40$  Կ) ցիկլի պարամետրերի վրա (նկ. 5): Մինչ կոմպրեսորի մուտքը գոլորշու գերտաքացման արժեքը չպետք է գերազանցի 30 Կ-ը, հակառակ դեպքում արտաձման ջերմաստիճանն անթույլատրելի կբարձրանա [9-11]: Նկ. 6-ում բերված կորերը ցույց են տալիս, որ այս սառնագենտի համար, ինչպես վերը ներկայացված մյուս սառնագենտների դեպքում, սառնարանային ցիկլի հիմնական բնութագրիչները նույնպես ունեն գծային բնույթ՝ առանց որևէ օպտիմումի:

Անհրաժեշտ է առանձին դիտարկել RC318 և R218 սառնագենտներով ցիկլերը (նկ. 6), որոնք հաճախ օգտագործվում են տուրբոմեքենաներով սառնարանային տեղակայանքներում:

Այս սառնագենտներով ցիկլերում կոմպրեսորի մեջ ներծծման վրա գոլորշու գերտաքացումը պարտադիր է: Եթե ջերմաստիճանը ցածր է, ապա կոմպրեսորի աշխատանքային տիրույթում, երբ սեղմվում է, սկսվում է սառնագենտի խտացումը՝ առաջացնելով հիդրավիլիկ հարված և կոմպրեսորը շարքից դուրս է գալիս: Գերտաքացումը կարող է իրականացվել ջերմափոխանակիչների միջոցով կամ էլեկտրական շարժիչի փաթույթները գոլորշու միջոցով հովացնելով: Տարբեր գոլորշիացման ջերմաստիճաններում և +45 °C խտացման ջերմաստիճանում ներծծման վրա RC318 գերտաքացման պահանջվող արժեքները ներկայացված են աղ. 3-ում (նկ. 7): Այսպիսով, այս սառնագենտի համար գոլորշիացման ջերմաստիճանի իջեցումը 10 Կ-ով պահանջում է գերտաքացման բարձրացում միջինը 6,5 Կ-ով:

Վերականգնվող ջերմափոխանակումը լայնորեն կիրառվում է մագախողովակով սառնարանային տեղակայանքներում: Մագախողովակը սովորաբար միացված է լինում ներծծող խողովակին, այսինքն՝ այն հանդիսանում է ջերմափոխանակիչի մի մաս: Հեղուկի սառեցումը կանխում է դրա մեջ գոլորշու պղպջակների վաղաժամ ձևավորումը՝ ի հետևանք ջերմային հոսանքների, ինչը կայունացնում է մագախողովակի աշխատանքը [12-15]: Գործնականում ցածր էներգիայի սառնարանային համակարգերում օգտագործվում են վերականգնող ջերմափոխանակման երկու հիմնական տարբերակ, որոնք ներկայացված են նկ. 8-ում:



Նկ. 6.  $q_o$ ,  $q_v$ ,  $l_s$ ,  $\epsilon_i$  կախվածությունը R22 սառնագենտի համար ռեգեներացիոն ցիկլում ՋՓ-ում գոլորշու գերտաքացման արժեքներից.  $t_o = -10^\circ\text{C}$  (263 Կ),  $t_o = -30^\circ\text{C}$  (243 Կ) և  $t_k = 30^\circ\text{C}$  (303 Կ),  $t_o = 5^\circ\text{C}$  (278 Կ) և  $t_k = 45^\circ\text{C}$  (318 Կ)

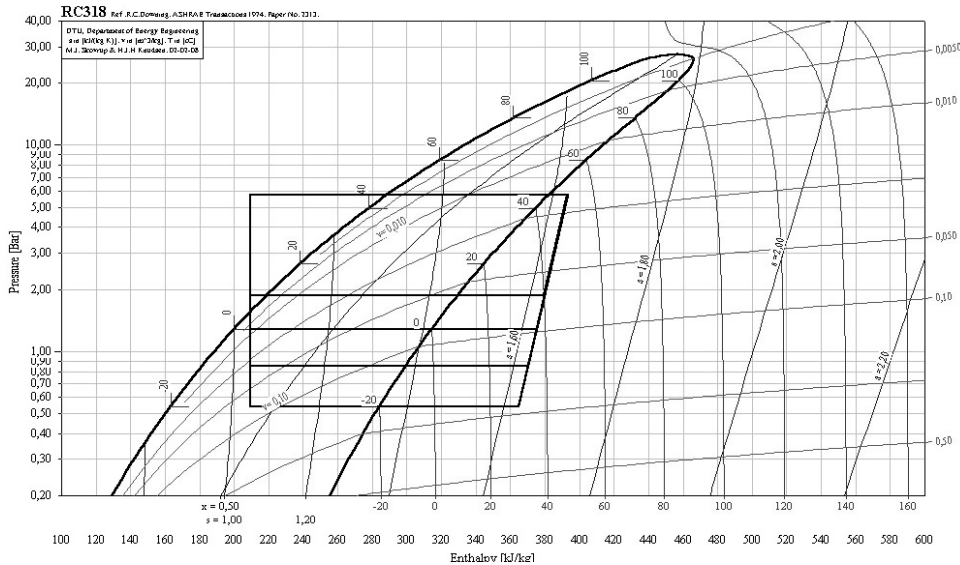
Աղյուսակ 3

Տարբեր գոլորշիացման ջերմաստիճաններում և  $+45^\circ\text{C}$  խտացման ջերմաստիճանում ներծծման վրա RC318 գերտաքացման պահանջվող արժեքը

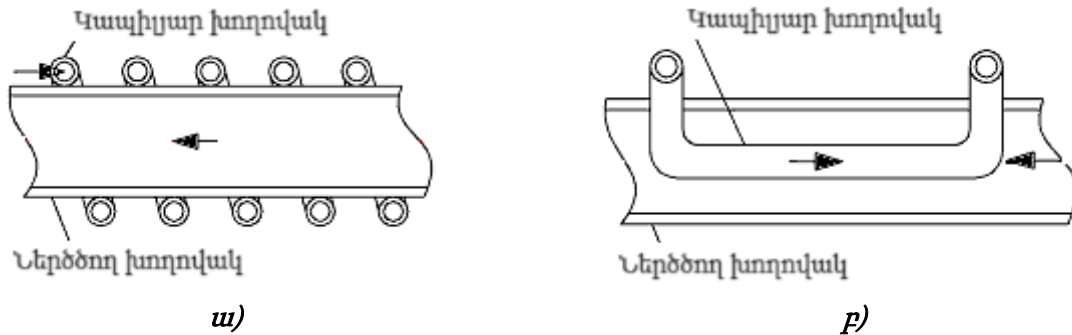
Գոլորշիացման ջերմաստիճան, $^\circ\text{C}$	+10	0	-10	-20
Գերտաքացում, Կ	31,0	37,5	42,0	48,5

Ենթադրվում է, որ մագախողովակի և ներծծող խողովակի շփման սկզբնական կետում հեղուկ սառեցնող հովացուցիչ նյութի և շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանը հավասար է:

Այսպիսով, ռեգեներացիոն ջերմափոխանակիչը օգտագործվում է սառնարանային ցիկլի արդյունավետությունը բարձրացնելու նպատակով կամ շահագործման գործնական նկատառումներից ելնելով:



Նկ. 7. Տարբեր գոյորշիացման կետերում ցիկլերի համեմատություն



Նկ. 8. Մազախողովակով ջերմափոխանակիչ. ա) մազախողովակը միացված է ներծծող խողովակաշարին արտաքինից, բ) մազախողովակը ներծծող խողովակաշարի ներսից է

**Եզրակացություն**

Ռեգեներացիոն ջերմափոխանակիչ կիրառման շնորհիվ՝

- որոշակի սառնագենտների (R404a, R134a, R12) տեսակարար ծավալային ցրտարտադրողականությունը և տեսական սառնարանային գործակցը բարձրանում է,
- սեղմման ժամանակ որոշ սառնագենտների խտացումը կանխարգելվում է (RC318 և R218),
- բարձրանում է ֆրեոնային կոմպրեսորների մատակարարման գործակիցը,
- մազախողովակի աշխատանքը բարելավվում է,
- յուղի վերադարձը օպտիմալացվում է,
- կոմպրեսորը պաշտպանվում է հիդրավիլիկ հարվածից,
- վերջին երկու հանգամանքները հեշտացնում են սառնարանային տեղակայաքների ավտոմատացումը:

**Գրականության ցանկ**

- [1] **ГОСТ Р 58536.2-2022.** Кондиционеры, агрегатированные охладители жидкости, тепловые насосы, технологические чиллеры и осушители с компрессорами с электроприводом, Москва, Российский институт стандартизации, 2022, 27с.
- [2] **D. Klaus,** Timmerhaus, Richard P Reed, Cryogenic Engineering Fifty Years, 2007, 379 p.
- [3] **A.R.Jha,** Cryogenic Technology and Applications, USA-Oxford, 2006, 288p.
- [4] <https://www.coolpack.nl/en/>
- [5] Обзор научнотехнических изданий. Воздушные тепловые насосы в системе теплоснабжения теплицы по матер. статьи: Гершкович В.Ф. Энергосбережение в зданиях. Киев, 2010. 4., Новости теплоснабжения 11 (2010) 10.
- [6] **А.А.Носиков, В.В.Носикова,** Холодильная техника. Эксплуатация холодильного оборудования, 2021, 204 с.
- [7] **Т.В.Морозюк,** Теория холодильных машин и тепловых насосов, Одесса, 2006, 764 с.
- [8] **K.Ochsner,** Geothermal Heat Pumps, London-Sterling, VA, 2007, 167 p.
- [9] **П.А.Трубаев, Б.М.Гришко,** Тепловые насосы, Белгород, 2009, 142 с.
- [10] **Г.П.Василев,** Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: монография, Издательский дом “Граница”, Москва, 2006, 176 с.
- [11] **А.В. Суслов,** Тепловые насосы для индивидуального загородного строительства. Тепловые насосы 1 (2011), <http://www.pump.esco.co.ua/>.
- [12] **G.Ventura, L.Risegari,** The Art of Cryogenics, USA, Oxford, 2008, 379 p.
- [13] **MSN 40-01-2011.** Interstate regulatory documents in the construction of EurAsEC. Internal heating, ventilation and air conditioning systems, Moscow, 2011.
- [14] **Th.Flynn,** Cryogenic\_Engineering, New York, 2005, 895 p.
- [15] **W. Steven,** Van Sciver - Helium Cryogenics, Florida State University, 2012, 487 p.

**ИЗУЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГЕНЕРАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА В  
ОДНОСТУПЕНЧАТОМ ХОЛОДИЛЬНОМ ЦИКЛЕ**

**Карен Ашотович Мовсисян**

*Национальный университет архитектуры и строительства Армении, г. Ереван, РА*

*karen.movsisyan1999@gmail.com*

*Цель исследования – изучить эффекты использования регенеративного теплообменника в одноступенчатом холодильном цикле. Путем расчетов изучено влияние перегрева и переохлаждения на холодопроизводительность, получены таблицы, выражающие влияние перегрева и переохлаждения в зависимости от температур испарения и конденсации. Исследования позволяют эффективно оценить роль теплообменника в холодильных установках. Также было рассмотрено применение регенеративного теплообменника для различных хладагентов, в таблицах приведены изменения параметров для оценки эффективности холодильных машин. Также в статье представлены положительные и отрицательные последствия использования регенеративного теплообменника.*

**Ключевые слова:** *регенеративный теплообменник, холодильная установка, испаритель, компрессор, перегрев, переохлаждение*

## STUDYING THE APPLICATION OF A REGENERATING HEAT EXCHANGER IN A SINGLE-STAGE REFRIGERATION CYCLE

**Karen Movsisyan**

*National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA*

*karen.movsisyan1999@gmail.com*

*The purpose of the study is to study the effects of using a regenerative heat exchanger in a single-stage refrigeration cycle. By means of calculations, the influence of overheating and undercooling on refrigeration capacity was studied, and tables were obtained expressing the influence of overheating and undercooling depending on the evaporation and condensation temperatures. Research allows us to effectively evaluate the role of the heat exchanger in refrigeration units. The use of a regenerative heat exchanger for various refrigerants was also considered; the tables show changes in parameters for assessing the efficiency of refrigeration machines. The article also presents the positive and negative consequences of using a regenerative heat exchanger.*

**Keywords:** *Regenerative heat exchanger, refrigeration unit, evaporator, compressor, superheat, subcooling*

**Մովսիսյան Կարեն Աշոտի** (ՀՀ, ք. Երևան) – ՃՇՀԱՀ, ՋԳՄՕ ամբիոն, ասպիրանտ, (+374)96230440, *karen.movsisyan1999@gmail.com*

**Мовсисян Карен Ашотович** (РА, г. Ереван) - НУАСА, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции, аспирант, (+374)96230440, *aren.movsisyan1999@gmail.com*

**Movsisyan Karen** (RA, Yerevan) - NUACA, Chair of ventilation, gas and heat supply, phd student, (+374)96230440, *karen.movsisyan1999@gmail.com*

*Ներկայացվել է՝ 28.05.2024թ.*

*Գրախոսվել է՝ 23.07.2024թ.*

*Ընդունվել է տպագրության՝ 30.08.2024թ.*