

Енергийни и технически загуби при експлоатацията на хладилни системи

Цветан Божков, Светослав Влашки, Йордан Стоянов

Резюме: Настоящият доклад обобщава някои често срещани проблеми, които формират негативни тенденции при експлоатацията на хладилни системи. Неправилният монтаж и липсата на адекватно техническо обслужване водят до съществено повишаване на енергийните разходи и ефекта върху околната среда. Освен тривиалните проблеми, като замърсяване на топлообменната повърхност, в практиката се наблюдават и по-трудни за установяване проблеми, които често се подценяват и пренебрегват от техническия персонал. Те се състоят основно в неправилно определяне на необходимото количество хладилен агент и неправилни настройки на работните параметри на хладилната система, особено при изпълнение на т.нар. замяна на хладилния агент.

Ключови думи: енергийни загуби, работни параметри, количество хладилен агент, хънтинг

Energy and technical losses by operation of refrigeration systems

Tsvetan Bozhkov, Svetoslav Vlashki, Jordan Stoyanov

Abstract: The following article summarizes some characteristic problems that form negative trends in the operation of refrigeration systems. Improper installation and lack of adequate maintenance leads to a substantial increase in energy costs and environmental impact. Except the trivial problems such as contamination of the heat exchangers surface, in practice additional problems are observed, which are more difficult to detect and are often underestimated and neglected by the technical staff. They consist mainly in the incorrect determination of the required amount of refrigerant charge and incorrect settings of the working parameters of the refrigeration system, especially by the implementation of the so-called retrofit.

Key words: energy losses, working parameters, refrigerant charge, hunting

1. Въведение

През последните години се наблюдава съществено подобряване на характеристиките на отделните елементи в хладилната система. Това включва повишаване на обемната ефективност и ефективността на електромоторите на хладилните компресори, честотно управление на електромоторите, използване на ЕС – вентилатори (вентилатори с електронна комутация на полюсите на електромотора), замяна на термостатичните с електрически регулиращи вентили (ЕРВ).

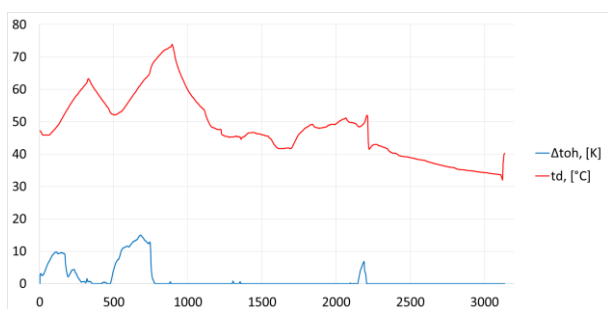
Въпреки развитието на отделните технологии, практиката показва, че често не се използват ефективно предимствата, които предлагат съвременните хладилни елементи. В определени случаи, това означава не само липса на подобряване, а дори влошаване на работните характеристики на хладилната система. Последствията са съществено повишаване на енергийното потребление и негативният ефект върху околната среда, които представляват фактори с глобално значение.

Също така не трябва да бъдат пренебрегвани допълнителните разходи за сервизни дейности, причинени от по-интензивната амортизация и съкращаването на експлоатационния живот на системите. Не на последно място, в определени приложения, най-големи последствия може да резултират от аварийното спиране на хладилните системи. Това са най-вече случаи, свързани с прекъсване на производствен процес, загубите от което, биха могли многократно да надхвърлят разходите за отстраняване на проблема или дори стойността на самата система.

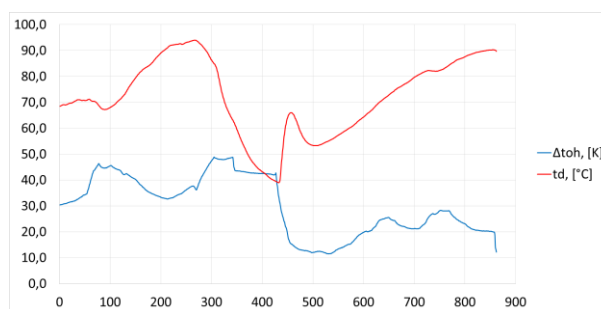
2. Монтаж и поддръжка

Макар и тривиални, неправилният монтаж и липсата на адекватна поддръжка, са фактори, които водят до сериозни негативни последствия, свързани с работата на хладилните системи. Често поради нееднозначната и периодична проява на проблемите, те не биват правилно или въобще идентифицирани. Това означава, че неправилната работа на системата може да продължи за много дълги периоди от време.

Пример от практиката е неправилен монтаж на система с променлив дебит на хладилния агент (VRF). Проблемът е отчетен, като невъзможност, в режим на охлаждане, при високи външни температури, да се поддържа зададената температура в отделни работни зони. При измерване на работните параметри на системата, са установени периодична липса на прегрев, непосредствено на входа на външното тяло, както и ниска температура на нагнетяване – под 50°C. Стойностите на измерените параметри са показани на Фиг. 1. Причината е проследена до неправилно изпълнение на тръбната система, състоящо се в пресичане на течностен и парен тръбопровод, както и неправилно свързване на вътрешно тяло в един от клоновете на системата. Също така се наблюдава неправилно вертикално разположение на разделителите на хладилен агент. Двете грешки водят до връщане на течен хладилен агент към компресора, както и до задържане на течност и масло в неактивните вътрешни тела.



Фиг. 1 Неправилен работен режим – връщане на течен хл. агент



Фиг. 2 Нормален работен режим на системата

Налице е изкуствено повишаване на смукателното налягане, което води до невъзможност за поддържане на зададената температура в отделни работни зони и непрекъснатата работа на компресора, който не може да достигне изчисленото от електронното управление необходимо смукателно налягане. Последствията от това са съществено повишаване на енергопотреблението на системата и скъсяване на експлоатационния ресурс на компресора, поради загуба на масло и засмукване на течен хладилен агент. На Фиг. 2 са показани стойностите на смукателния прегрев и температурата на нагнетяване при нормална работа на системата след отстраняване на посочените проблеми.

3. Количество хладилен агент в системата

Некоректното зареждане с хладилен агент е един от най-разпространените в практиката проблеми.

В повечето заводски произведени хладилни системи, които са подготвени за директно въвеждане в експлоатация, необходимото количество хладилен агент е предварително изчислено и отбелязано от производителя. Въпреки това, при необходимост от последващо зареждане, поради лоши сервизни практики, реално в много случаи, системите не се зареждат коректно. Още по-голям е проблема в системите, където не е предварително зададено необходимото количество хладилен агент. Практиката показва, че при някои от тези случаи, техническият персонал не определя количеството хладилен агент на база на правилно разчитане на работните параметри на системата, а на база на субективни

критерии, като например температурата на смукателния тръбопровод или налягането на изпарение.

3.1. Недостиг на хладилен агент

Недостатъчното количество хладилен агент води до липса на достатъчен обем течност в кондензатора. Поради това не се осигурява необходимото подохлаждане на входа на регулиращия вентил. Състоянието на входа на вентила се измества на дясно в двуфазната област. Намалява специфичната студопроизводителност на системата. Наличието на пари на входа на вентила води до рязко редуциране на масовия дебит на хладилен агент през него, както и до възникване на неустойчивост в регулирането – хънтинг. Рязко се понижава температурата на изпарение. Като резултат, съществено се редуцира хладилната мощност, увеличава се работното време и енергопотреблението и съответно значително намалява ефективността на хладилната система.

3.2. Излишък на хладилен агент

Наличието на по-голямо количество хладилен агент води до повишаване на налягането/температурата на кондензация. По-високото налягане на кондензация означава увеличаване на специфичната работа на компресора. Също така нараства специфичната енталпия на входа на регулиращия вентил, т.е. редуцира се специфичната студопроизводителност. Поради по-голямата степен на сгъстяване, намалява обемната ефективност на компресора и се увеличава механичното натоварване. Хладилната мощност и ефективността на системата намаляват.

В инженерната практика съществува правило за приблизително оценяване на ефекта от промяна на температурите на изпарение и кондензация. При промяна на температурата на изпарение или температурата на кондензация с 1K, ефективността на системата в среднотемпературния диапазон се променя с около 3 %, а в нискотемпературния диапазон, съответно с около 6 %.

3.3. Висока температура на нагнетяване

Както недостигът, така и по-голямото количество хладилен агент могат да доведат до повишаване на температурата на нагнетяване. Високата температура на нагнетяване е една от основните причини за повреди на хладилните компресори. Използваните съвременни синтетични хладилни масла имат висока термична устойчивост. Въпреки това, температури по-високи от 160°C – 170°C, за кратки периоди от време, водят до химически разпад на използваните масла. Подценява се фактът, че температурата на нагнетяване измерена в нагнетателния тръбопровод на изхода от компресора е с от 25 до 55K по-ниска от тази на горещите пари непосредствено на изхода от работния механизъм, в нагнетателната камера на компресора. Това означава, че температури на нагнетяване над 130 – 140°C, могат да доведат до бърз химически разпад на маслото. Температури на нагнетяване над 105 – 110°C, съществено редуцират периода от време, през който маслото може да запази своите характеристики. Времето за осъществяване на химическата реакция се съкращава два пъти на приблизително всеки 10°C повишаване на температурата. Химическият разпад на маслото води до невъзможност да се осъществява ефективно мазане на компресора. Образуването на отлагания и утайки създава възможност за възникване на запушвания на вентили, филтри, маслените канали на компресора и т.н. Образуваните въглеродни отлагания по нагнетателната част на работния механизъм на компресора, които съществено ускоряват износването и водят до неплътности. При наличие на влага в системата, високите температури действат каталитично и предизвикват взаимодействия между хладилен агент, масло и влага, при които се образуват органични киселини. Киселините нарушават целостта на статорната изолация на електромотора (отнася се за херметични и полухерметични компресори), и водят до електрически пробиви.

3.4. Пример за недостиг на хладилен агент

Пример от практиката за ефекта от недостиг на хладилен агент е водоохладящ агрегат, предназначен за комфортна климатизация. Извършена е замяна с преминаване от хладилен агент R22, към R422D. Отчетеният проблем е задействане на защитния пресостат за ниско налягане. След измерване и анализ на работните параметри, показани на Фиг. 3, е установена неустойчивост в регулирането, причинена от недостиг на хладилен агент. От фигурата, ясно се вижда хънтинг, състоящ се в колебания на работния прегрев с амплитуда от около 15K. Възможните причини за хънтинг в хладилната система са неправилен оразмерен регулиращ вентил, неподходящо количество хладилен агент, недостиг на хладилен агент, неправилен монтаж на осезателя/температурния сензор на вентила, неравномерно топлинно натоварване на отделните контури на изпарителя.

От графиката на Фиг. 3, се вижда периодична загуба на подохладяне, т.е. наличие на пари на входа на регулиращия вентил. Установена е редуцирана входяща температурна разлика на кондензатора ΔT_1 от 10 – 12K. При този тип системи от по-старо поколение, нормално ΔT_1 е в интервала 15 – 17K. Констатираните факти са ясен показател за недостиг на хладилен агент. В системите с регулиращ вентил, подохладяването е основна мярка за наличното количество хладилен агент. Периодичната поява на подохладяване е свързана пряко с характера на процеса на хънтинг, при който регулиращият вентил непрекъснато променя своето положение. В момента на затваряне на вентила се получава временно задържане на по-голямо количество течен хладилен агент в кондензатора и съответно получаване на минимално подохладяване, до 2 – 3K.



Фиг. 3 Работни параметри на водоохладящ агрегат

В конкретния пример от Фиг. 3 се вижда, че след допълнително зареждане на необходимото количество хладилен агент, се наблюдава стабилизиране на работните параметри. Зареждането е извършено след пълна проверка за херметичност на системата. Налице е установяване на подохладяване от 7 – 8K. Налягането, съответно температурата на изпарение се повишават.

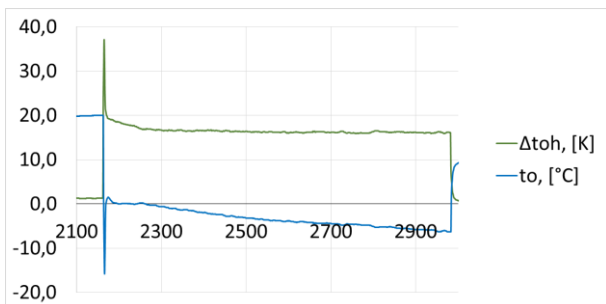
4. Настройка на работните параметри

4.1. Замяна на хладилния агент

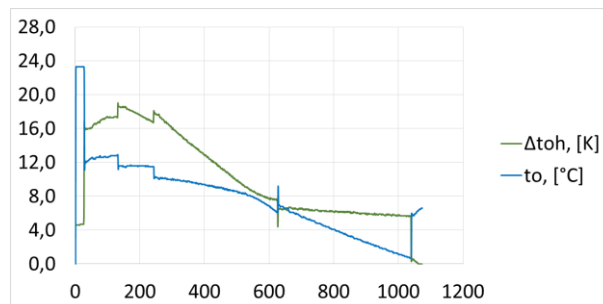
Цялостната техническа процедура по замяна на хладилен агент в дадена система е отново актуална, поради навлизането на новите законови разпоредби от януари 2015 год. Според тях, с цел ограничаване на емисиите на парникови газове, производството и цената на хладилни агенти се определят спрямо квоти, които съотнасят 1 kg хладилен агент към неговия CO_2 – еквивалент. Основният сектор, който ще бъде засегнат и в който в глобален план, се намират едни от най-големите количества хладилен агент, са търговските хладилни системи. В тях, към настоящия момент, масово се използва, както в средно, така и нискотемпературните системи, хладилен агент R404A, който притежава висок ПГЗ – 3922 [1]. R404A, ще бъде заменен от алтернативните хладилни агенти R407A и R407F. Особеното при тези хладилни агенти е, че те представляват зеотропни смеси, т.е. притежават температурен глайд. Това означава, че при замяната на хладилен агент, основен фактор за постигане на еквивалентни енергийни характеристики ще бъде правилното пренастройване на системите.

Пример за необходимост от извършване на допълнителни настройки при замяна на хладилен агент е водоохлаждащ агрегат, предназначен за охлаждане на вода за технологични цели. Извършена е процедура по замяна на съществуващия хладилен агент R22 с алтернативния R422D, който представлява зеотропна смес. При измерване на работните параметри на системата, се установява съществено понижение на температурата на изпарение, която нормално в зависимост от топлинния товар, трябва да се изменя в диапазона от 0 до 8°C. След замяната на хладилния агент температурата на изпарение се изменя в диапазона от -6 до 0°C. Това съществено намаляване на температурата със средно около 5K, според вече споменатото практическо правило, 3 % на 1K, означава увеличаване на енергопотреблението на системата с приблизително 15 %. Причината за по-ниската температура на изпарение е високият прегрев в изпарителя – около 16K. Друго инженерно правило казва, че за всеки 5K прегрев, са необходими приблизително 10 % от топлообменната повърхност на изпарителя. По-високият прегрев намалява ефективната топлообменна повърхност на изпарителя (зоната на фазов преход), температурната разлика в изпарителя нараства и системата се балансира при по-ниска температура на изпарение. Причината за по-високия прегрев е разликата в термодинамичните свойства на R422D, спрямо R22. В такива случаи при замяната на хладилен агент е необходимо да се извърши настройка на статичния прегрев на ТРВ.

На Фиг. 4 е показана по-ниската температура на изпарение при поддържане на висок прегрев, преди извършване на настройката. На Фиг. 5, след извършване на настройката, се вижда съществено повишаване в температурата на изпарение, резултат от понижаване на работния прегрев. Низходящият вид на кривите на Фиг. 5 се дължи на понижаване на температурата на студоносителя (вторичния флуид), като в дясната част се вижда установен режим със стойности на прегрева от около 6K.



Фиг. 4 Преди извършване на настройката



Фиг. 5 След извършване на настройката

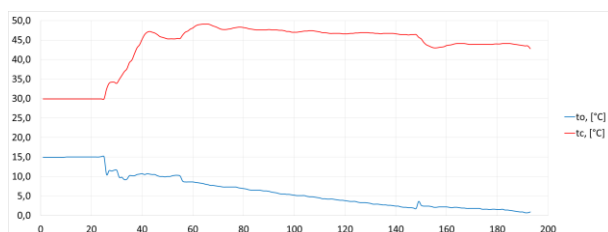
4.2. Пример за замяна на ТРВ с ЕРВ

Използването на съвременни елементи с високи технически характеристики, само по себе си, не гарантира повишаване на енергийната ефективност на хладилната система. За да се постигне това, е необходимо осигуряването на определени технически предпоставки, една от основните, от които е извършването на коректни настройки на системата.

Пример от практиката е водоохлаждащ агрегат, в който е извършена замяна на съществуващите термостатични с електрически регулиращи вентили. Едно от основните предимства на ЕРВ е възможността за понижаване на температурата на кондензация, чрез което се намалява енергопотреблението на компресора. Минималната температура на кондензация, в зависимост от особеностите на конкретната система, може да се понижи до 15°C. В разглежданата система, не са направени необходимите настройки. При околна температура от около 18°C, от Фиг. 6 се вижда, че системата поддържа температура на кондензация от около 48°C. Това задание е съобразено с работата на оригиналните термостатични регулиращи вентили. Дори при използване на ТРВ, тази стойност е висока, като нормално при правилно оразмеряване на ТРВ, може да се поддържа минимална температура на кондензация в диапазона от 30 до 35°C.

Липсата на коректни настройки след замяна на вентилите, на практика напълно неутрализира техния потенциал за съхранение на енергия. Налице, вместо подобряване на ефективността на системата, е единствено негативният икономически ефект от направената инвестиция.

Също така, поради некоректно зададени настройки на електронния контролер се наблюдава връщане на течен хладилен агент към компресорите, което съкращава техния експлоатационен живот и има потенциал да причини сериозни допълнителни разходи.



Фиг. 6 Работни параметри на водоохлаждащ агрегат

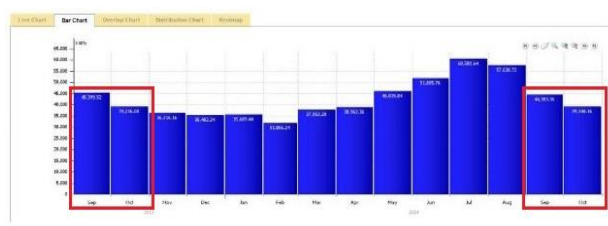
4.3. Пример за обновяване на витрините в търговска хладилна система

Пример за влиянието на настройките върху ефекта от мерките за повишаване на енергийната ефективност, е допълнителното монтиране на врати на хладилни витрини в магазините на голяма търговска верига. Тази практика е доказала своя ефект за редуциране на разходите за енергия на хладилни системи, които обслужват вертикалните витрини от отворен тип. Монтажът на врати редуцира с до 70 % топлинните притоци от инфилтрация и лъчист топлообмен.

През 2014 голяма търговска верига предприема монтаж на врати на съществуващите хладилни витрини в два от своите обекти, намиращи се в два български града. След сравнение на енергопотреблението на хладилните системи за двумесечен референтен период, е установено, че в първия обект са налице същите стойности, а във втория обект дори се наблюдава леко повишение. Трябва да се отбележи фактът, че за разглеждания период от време, външните температури, потока от продукти и натоварването на хладилните системи са идентични. Липсват фактори, които могат да доведат до припокриване на спестената електроенергия от по-голямо натоварване на хладилните системи.



Фиг. 7 Електропотребление на СРТ хл. система - Търговски обект 1

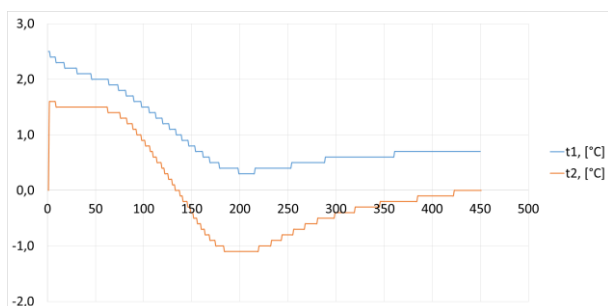


Фиг. 8 Електропотребление на СРТ хл. система - Търговски обект 2

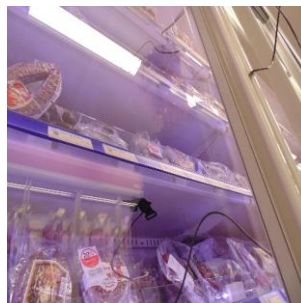
Монтажът на допълнителните врати е осъществен през месец август 2014 год. На Фиг. 7, се вижда, че в първия обект, енергопотреблението за месеците септември и октомври е еквивалентно на това за същия период от предходната година. На Фиг. 8 аналогично е показано енергопотреблението на хладилните системи във втория обект, където е налице повишаване на стойностите с около 2%. Данните са получени от системата за енергиен мениджмънт на обектите. Стойностите показват енергопотреблението на среднотемпературната хладилна система в kWh за всеки месец от годината.

След посещение на място на двата обекта, провеждане на измервания и извършване на обработка и анализ на събраната информация, са направени съответните заключения:

1) Установен е дисбаланс между хладилната мощност на системата и редуцирания хладилен товар, който се дължи на голямото намаляване на топлинните притоци, вследствие на монтажа на допълнителните врати.



Фиг. 9 Изменение на температурата в две точки в представителна хладилна витрина



Фиг. 10 Разположение на температурните сензори в хладилната витрина

2) Поддържаната средна температура в около 80 % от витрините е с от 3 до 5°C по-ниска от необходимата. Разположени са два температурни сензора на различна височина, в средата на долната и горната 1/3 в достатъчно голям представителен брой витрини. На Фиг. 9 е показана извадка от измерване на температурата в една от хладилните витрини, в която трябва да се поддържа температура в диапазона от 3 до 6°C. От фигурата се вижда, че максималната стойност на температурата за един работен цикъл, измерена в горната част на охлаждаемия обем е 2,5°C. Минималната измерена температура е -1,1°C. Наблюдава се преохлаждане вследствие на значително по-високата хладилна мощност на изпарителите спрямо силно редуцираните топлинни притоци. Това води както до нарушаване на температурния режим на съхраняваните продукти, така и до излишен разход на енергия, който именно обяснява посочените стойности на енергопотреблението.

3) Установено е понижаване на смукателното налягане, вследствие на по-ниския хладилен товар. Това води до допълнително намаляване на ефективността на системата. Поради настъпил дисбаланс между мощността на хладилната система и хладилния товар, съществено се увеличава броя на пусковете на отделните компресори. На Фиг. 11 са показани работните параметри на системата, от които се вижда голямата честота на работните цикли и понижаванията в смукателното налягане. Поддържаната по-ниска температура в хладилните витрини, по-ниското смукателно налягане, както и по-големия брой работни цикли на компресорите водят до съществено изкуствено повишаване на енергопотреблението.

Изводът е, че поради липсата на адекватни настройки изцяло се губи ефекта от направената инвестиция. За да се постигне желаното намаляване на енергийните разходи, е необходимо да бъдат извършени някои основни настройки на системата.

На първо място трябва да бъдат увеличени заданията за температурата и температурните диференциали в отделните хладилни витрини. Трябва да бъдат оптимизирани настройките на електронния контролер, който управлява стъпките на включване на отделните хладилни компресори, за да се избегне понижаване на смукателното налягане и да се редуцира броя на работните цикли. При необходимост е възможна промяна в конфигурацията на хладилната централа чрез изключване на един от хладилните компресори и увеличаване на диференциалите на включване на останалите компресори.



Фиг. 11 Работни параметри на хладилната система

5. Заключение

Настоящият доклад демонстрира някои характерни тенденции, свързани с проблеми при експлоатацията на хладилни системи, които водят до съществено увеличаване на енергийните и технически разходи. Показва се как чрез систематичен подход, състоящ се в измерване и анализ на работните параметри на хладилната система, могат да бъдат отстранени съответните проблеми. Представените примери доказват, че използването на съвременни елементи с високи технически характеристики, само по себе си не гарантира постигането на висока енергийна ефективност. Като основен фактор се обособява необходимостта от извършване на коректни настройки на хладилната система. Обръща се внимание на особеностите при замянната на хладилен агент, която е отново актуална във връзка с навлизането на все по-строги екологични изисквания.

Поради факта, че хладилните системи изпълняват своето основно предназначение за поддържане на съответната температура, често се пренебрегват проблеми, които водят до продължителна работа на системите в неблагоприятен режим. Това значително увеличава енергийното потребление и скъсява експлоатационния живот на системите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bernandi, Jean. (2015). *R404A – the end of an era*. Honeywell International Inc. Seminar in Sofia 2015.
2. Korn, D. (2011). *Effizienter Betrieb von Kälteanlagen*. VDE VERLAG GMBH. Berlin. Offenbach.
3. Breidenbach, K. (2010). *Der Kälteanlagenbauer Band 2: Grundlagen der Kälteanwendung*. VDE VERLAG GMBH. Berlin. Offenbach.
4. Sidel, R. and Noack, H. (2011). *Der Kältemonteur*. VDE VERLAG GMBH. Berlin. Offenbach.

Автори:

доц. д-р инж. Цветан Николов Божков, ТУ – София, ЕМФ, катедра ТХТ, моб. тел: +359/ 899 933 600, e-mail: cecobj@abv.bg

маг. инж. Светослав Руменов Влашки, ТУ – София, ЕМФ, катедра ТХТ, моб. тел: +359/ 878 126 622, e-mail: svetoslav.vlashki@gmail.com

маг. инж. Йордан Георгиев Стоянов, ТУ – София, ЕМФ, катедра ТХТ, моб. тел: +359/ 899 833 513, e-mail: danko_st@abv.bg