

## Оптимизация на настройките при хладилни системи използващи EPB

Цветан Божков, Светослав Влашки, Йордан Стоянов

**Резюме:** Настоящият доклад прави кратък преглед на инженерните предпоставки, които трябва да бъдат съблюдавани при проектиране на хладилни системи използващи EPB (Електрически Регулиращ Вентил). Разгледани са някои технически аспекти, свързани с оптимизация на работните параметри чрез подобряване на настройките, определящи работата на EPB.

Ключови думи: EPB, работни параметри, хладилна система,

### Optimization of the working parameters in refrigeration systems using EEV

Tsvetan Bozhkov, Sevtoslav Vlashki, Jordan Stoyanov

**Resume:** The following article represents a short overview of the engineering considerations that should be observed by designing refrigeration systems using EEV. They are shown some technical aspects considering the working parameters optimization, by improving system settings.

Key words: EEV, working parameters, refrigeration system

#### 1. Въведение

Настоящият доклад е свързан с разработката на авторите на тема „Сравнителен анализ на характеристиките на електрическите и термостатичните регулиращи вентили“ (1). Разглеждани са следните основни въпроси:

- инженерните предпоставки, които трябва да бъдат съблюдавани при проектиране на хладилни системи използващи EPB
- някои насоки при оптимизация на работните параметри, чрез подобряване на настройките в хладилни системи използващи EPB

Съществено внимание се обръща на факта, че просто поставянето на EPB в една хладилна система, независимо при проектиране или при ретрофит, по никакъв начин не гарантира повишаване на нейната енергийна ефективност и подобряване на цялостното ѝ представяне. Още повече, показва се, че неправилното приложение на EPB може да доведе до обратния ефект, а именно влошаване на характеристиките на хладилната система. За да се използват оптимално възможностите на EPB е необходимо проектирането и изпълнението на хладилната система да бъде съобразено и насочено към характеристиките на този тип дроселиращи вентили. Дори когато това условие е изпълнено, са налице незадоволителни резултати, ако не е направена последната стъпка, а именно провеждане на измервания и анализ на получените резултати при въвеждане на хладилната система в експлоатация и подобряване на необходимите настройки.

Изложението на настоящия доклад се основава на проведените множество измервания и симулации на различни работни и аварийни режими в реални хладилни системи. Основната работа е извършена върху разработен в катедрата по „Топлинна и Хладилна техника“ в Технически университет - София, лабораторен стенд на термopомпена система въздух-вода (Фиг. 1), както и на високоефективен водоохлаждащ агрегат (Фиг. 2), внедрен в предприятие за производство за гъби.

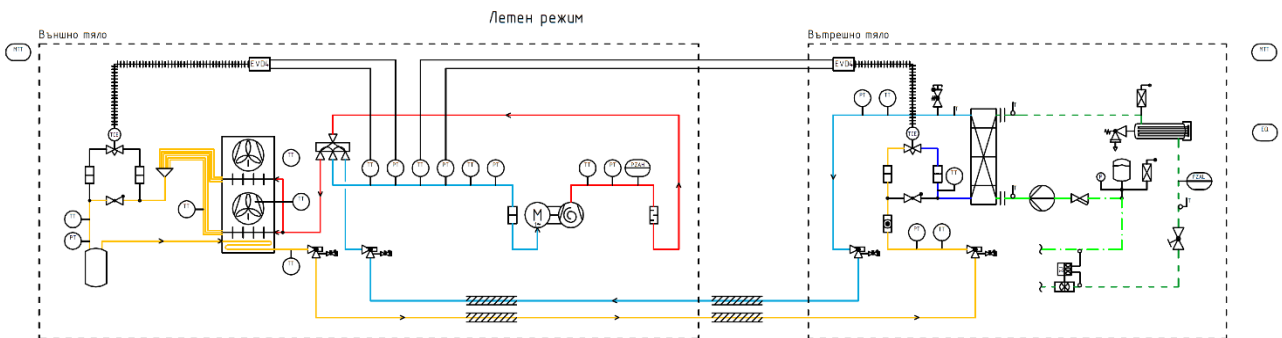


Фиг. 1 Лабораторен стенд на термопомпен агрегат въздух - вода



Фиг. 2 Високоэффективен водоохлаждащ агрегат

Лабораторният стенд на термопомпена система въздух – вода включва два електрически регулиращи вентила и съчетава въздушен и пластинчат топлообменни апарати, като така позволява изследване работата на ЕРВ с различен вид изпарители. Уеб – базираната система за отдалечен мониторинг и управление, програмируемият контролер, както и пълното покритие на системата със сензори за температура и налягане, топло/студомер и електронен анализатор позволяват симулирането на различни работни режими и гъвкавата и ефективна обработка на придобитите данни.



Фиг. 3 Извадка от уеб – базирания интерфейс на лабораторния стенд



Фиг. 4 Електронен уред Testo 570

Извън интегрираната мониторингова система на термopомпения стенд, всички измервания са проведени с електронен уред от последно поколение Testo 570. Информацията е обработена чрез софтуерните продукти „testo easyKool“ и MS Office Excel.

## **2. Инженерни предпоставки при проектиране на хладилната система**

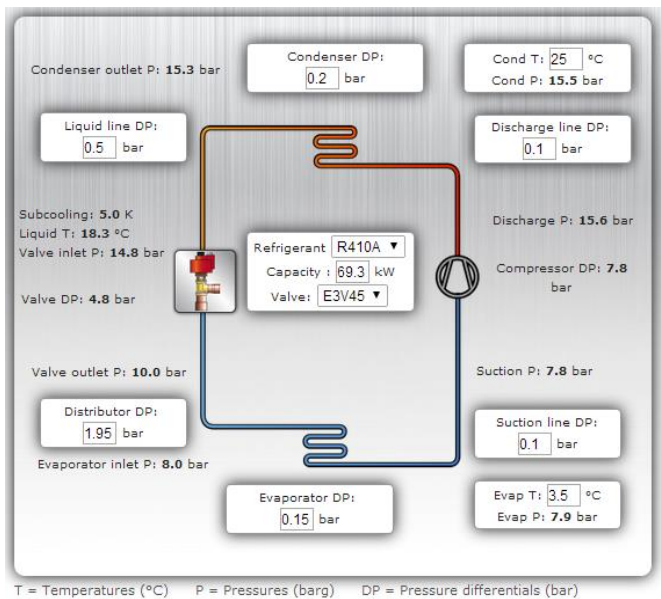
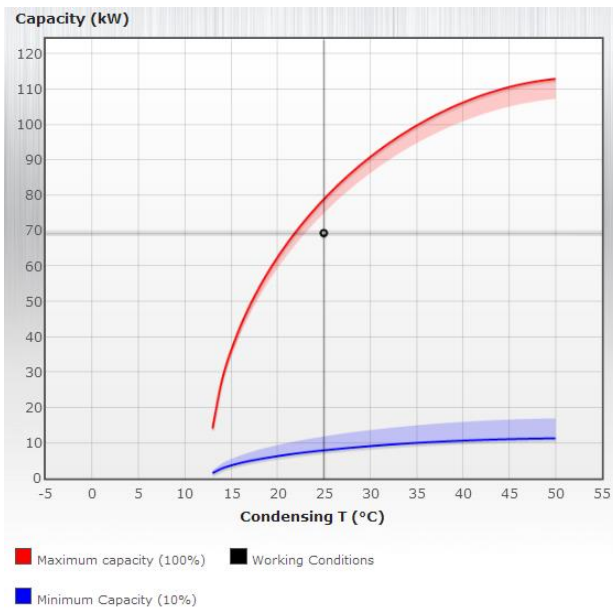
Анализите показват, че просто поставянето на EPB в хладилната система не гарантира постигане на ползите от тази технология. За целта е необходимо да бъдат съблюдавани определени инженерни предпоставки при проектиране на хладилната система. Основен пример за това е оразмеряването на електрическите електрически вентили.

Характеристиките на TPB не позволяват работа в широк диапазон на наляганията на кондензация. Консервативният подход при оразмеряване на TPB се състои в избор на вентил с мощност не повече от 10% по-голяма от тази на изпарителя при проектни условия. Мощността на вентила, за даден хладилен агент, се определя от температурата на изпарение и температурата на подохладената течност, чрез които се дефинира специфичната студопроизводителност и минималното налягане на кондензация, което определя разполагаемата разлика в наляганията през вентила. Стойностите, до които се ограничава минималната температура (налягане) на кондензация за въздушни кондензатори в среднотемпературни хладилни системи, са от порядъка 25 – 30 °C. При отчитане на съответните падове на налягане между кондензатора и регулиращия вентил се получава проектната стойност на разполагаемата разлика в наляганията през вентила. Именно това е стойността, при която в инженерната практика е прието, мощността на вентила да не надхвърля с повече от 10% мощността на изпарителя. Ако това условие не бъде изпълнено, при повишаване на външната температура и съответно налягането на кондензация, резултатът е изпадане на системата в неустойчивост, т.е. „хънтинг“. Точно този ефект изтъква един от основните енергийни недостатъци на TPB (1).

За разлика от термостатичните регулиращи вентили и двата вида електрически регулиращи вентили позволяват регулиране на мощността в много широк диапазон до едва 10% от техния пълен капацитет, без това да води до „хънтинг“ при високо налягане на кондензация. За да се използва обаче това тяхно предимство, от основна важност е правилният подход при оразмеряване на електрическите вентили.

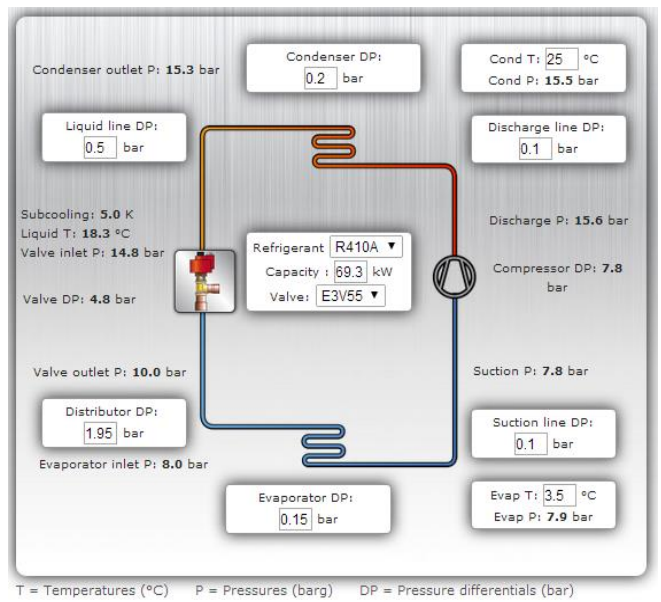
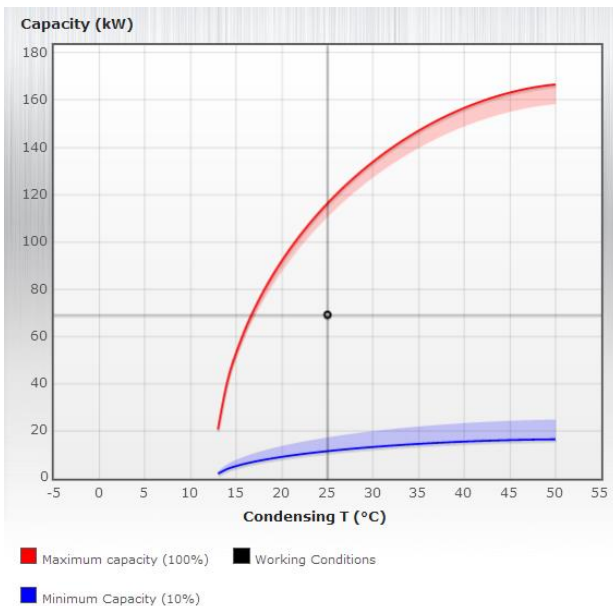
Фигури 5 до 7 показват процес на оразмеряване на EPB за водоохлаждащ агрегат с въздушни кондензатори работещ с R410A. Показаните изчисления са осъществени със софтуерния продукт „ExVLab“ на италианския производител Carel S.p.a.

За разглеждания агрегат, при температура на изпарение от 3,5 °C, минималната температура на кондензация при работа с EPB, която в този случай се определя от работния диапазон на компресора е 25 °C. Фиг. 5 показва избор на електрически регулиращ вентил при тази температура на кондензация. Двете най-близки възможности са E3V45 и E3V55. В случая макар работната точка да се намира в рамките на допустимия диапазон на вентила E3V45, той не е подходящ. Причината за това е, че проведените експериментални изследвания показват неустойчивост в характеристиките на електрическите регулиращи вентили, когато работната точка се намира близо до техния мощностен диапазон. Експериментът, проведен на описания вече лабораторен стенд, се състои в свързване на два електрически регулиращи вентила с последователни мощности към въздушния изпарител на системата. Вентилите E2V11 и E2V14 са избрани така, че работната точка на симулирания режим да попада в допустимия диапазон и на двата вентила. Тази работна точка е много близо, в рамките на 5%, до мощностната характеристика на по-малкия от двата вентила. Проведените измервания показват невъзможност да се достигнат оптималните стойности на прегрева в изпарителя, както и съответно съществено понижаване на температурата на изпарение – между 5 и 7 K.



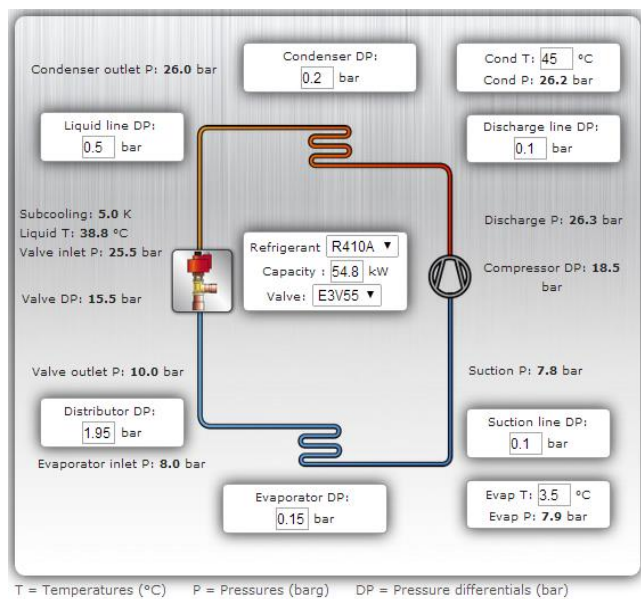
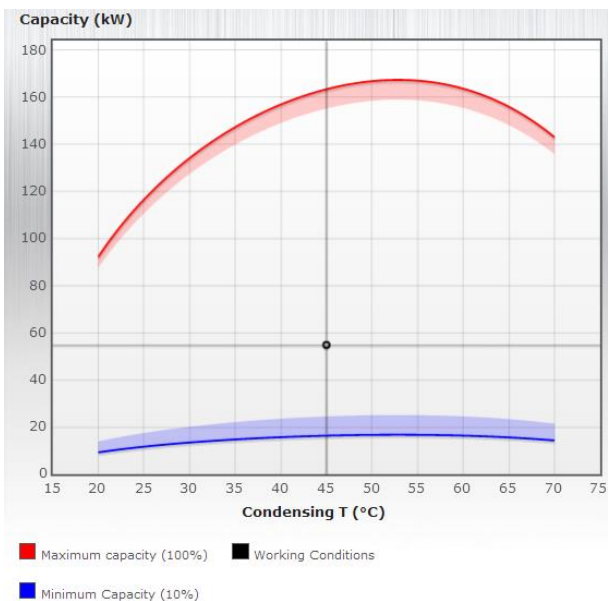
Фиг. 5 Избор на EPB E3V45 при температура на кондензация 25 °C

На Фиг. 6 е показана характеристиката на подходящия в показания пример вентил, а именно E3V55. При избраните проектни условия работната точка на системата се намира на достатъчно разстояние от граничната характеристика на вентила.



Фиг. 6 Избор на EPB E3V55 при температура на кондензация 25 °C

Фиг. 7 показва разположението на работната точка спрямо характеристиката на избрания вентил при максимална температура на кондензация. Вижда се особено характерната, в сравнение с термостатичните регулиращи вентили, голяма разлика между максималната мощност на вентила и мощността на компресора при тези условия. Въпреки тази разлика работната точка се намира значително над минималната допустима мощност изобразена чрез синята крива в долната част на работния диапазон на вентила.



Фиг. 7 Характеристика на EPV E3V55 при температура на кондензация 45 °C

От тук следва Важния извод, че при проектиране на EPV, противно на подхода, който се използва при TRV, е необходимо да се предвиди съществен запас от мощност, от порядъка на от 30 до 50% при максимум  $\Delta p$  ( $p_c - p_0$ ), за да се използват при минимум  $\Delta p$  пълните възможности на вентила.

Аналогичен е подходът при електрическите регулиращи вентили с широчинно – импулсна модулация. Поради факта, че тези вентили контролират количеството хладилен агент постъпващ в изпарителя чрез промяна на времето, за което вентилът е отворен, е необходимо при максимално натоварване на вентила да се осигури необходимата резервна мощност. Това означава да се даде възможност на вентила да се затваря за определен интервал от време. В противен случай когато мощността им е близка до тази на изпарителя и натоварването е максимално този тип EPV губят своята регулираща способност. За да се избегне подобен проблем е необходимо мощността на вентила да се избират така, че при проектни условия отношението на отваряне да бъде между 50 и 75%.

Друга предпоставка, която трябва да бъде съблюдавана при проектиране, е оразмеряването на течностните тръбопроводи при вентилите с широчинно – импулсна модулация. При изчисляването им техният диаметър трябва да се съобразява не с мощността на изпарителя, а с мощността на EPV. В противен случай високата скорост, която се получава при рязкото отваряне на вентила, предизвиква голям пад на налягане, като резултат от който се наблюдава интензивно запълване с пари на течностните тръбопроводи. Това води до рязко редуциране на мощността на вентилите, неефективно запълване на изпарителите и изпадане на системата в неустойчив режим на работа.

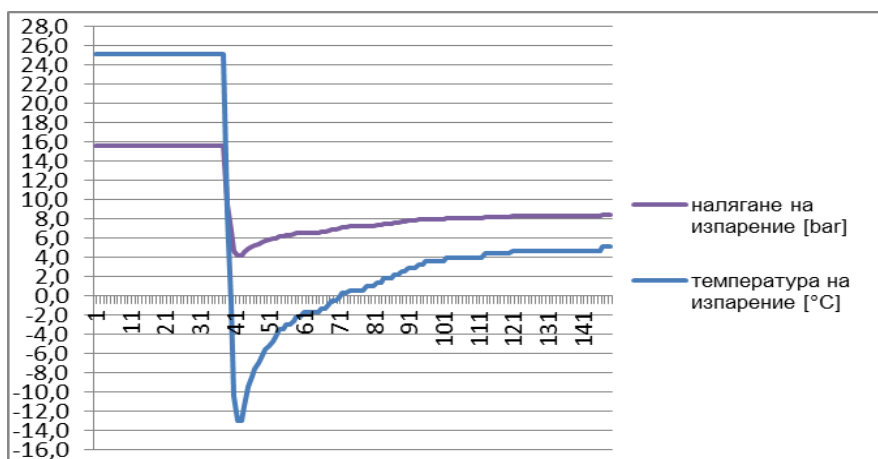
Пример за неправилно приложение на EPV е съчетанието на този вид вентили с TRV в една хладилна система. Това води до един от два резултата. Първата възможност е да не се използват предимствата на EPV поради факта, че за да се осигури оптималната работа на TRV, изкуствено е ограничено минималното налягане на кондензация. Така напълно се губи ползата от редуцираното електропотребление при ниски външни температури. Друга възможност е да се допусне понижаване на налягането на кондензация, при което термостатичните регулиращи вентили поради недостатъчното  $\Delta p$  не осигуряват необходимия масов дебит на хладилния агент, което води до изброените вече негативни последствия. Ето защо може да се заключи, че комбинирането на електрически и термостатични регулиращи

вентили в една хладилна система с изключение на случай, когато могат да бъдат налице особени изисквания е икономически и технически неефективно.

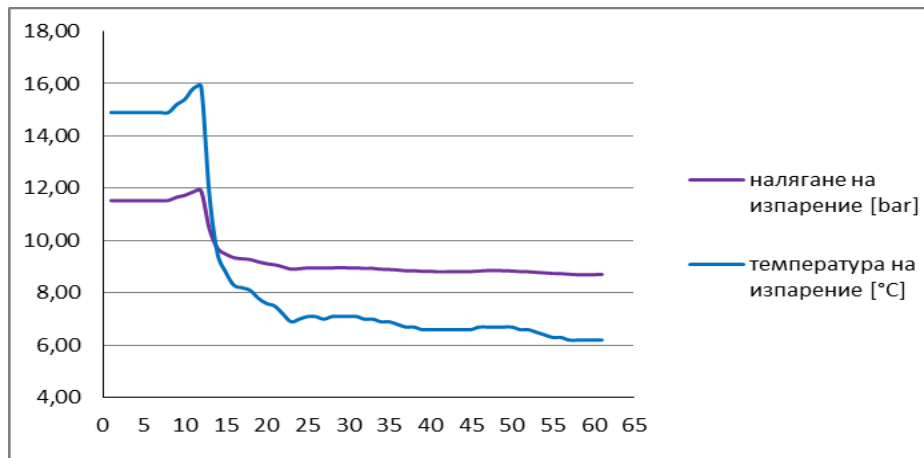
### 3. Насоки при оптимизация на работните параметри, чрез подобряване на настройките на хладилни системи използващи ЕРВ

Анализът на получените при измерванията резултати показват, че доброто балансиране на електрическия регулиращ вентил с останалите елементи на хладилната система не е достатъчно за постигане на добри резултати по отношение на ефективната и прецизна работа на системата. Решаващ фактор се оказва оптимизацията на работните параметри чрез подобряване на определени настройки характеризиращи работата на ЕРВ.

По-долу са посочени два характерни примера даващи представа за особеностите при настройка на ЕРВ – контролерите. Първият пример е показателен за това как на пръв поглед прости настройки могат съществено да понижат ефективността на дадена хладилна система. Примерът демонстрира проблем с рязко понижаване на смукателното налягане, който авторите регистрират несамо при на място асемблирани, но и при заводски системи, някои, от които надхвърлят 1 MW хладилна мощност. Проблемът е познат като нормално явление при работа с ТРВ, състоящо се в рязко понижаване на смукателното налягане при старт на компресора. Това се дължи на забавянето в реакцията на регулиращия вентил при пуск на системата. Особено силно този ефект е изразен в системи работещи с конвенционални спирални компресори, които са характерни със своята висока обемна ефективност и изпарители с малък обем като пластинчати топлообменници. Резултатът от това явление е понижаване на ефективността на системата поради ниската температура на изпарение при всеки пуск, както и често наблюдавано изключване на защитния пресостат за ниско налягане. Последното се предотвратява неправилно чрез понижаване на настройката на защитата под допустимите стойности. Такъв проблем би трябвало да се решава ефективно, при системи използващи ЕРВ, но опитът на авторите от проведените измервания показва обратното. Фиг. 8 демонстрира именно такова рязко понижаване на смукателното налягане при пуск на водоохлаждащ агрегат работещ с ЕРВ със стъпков електромотор.



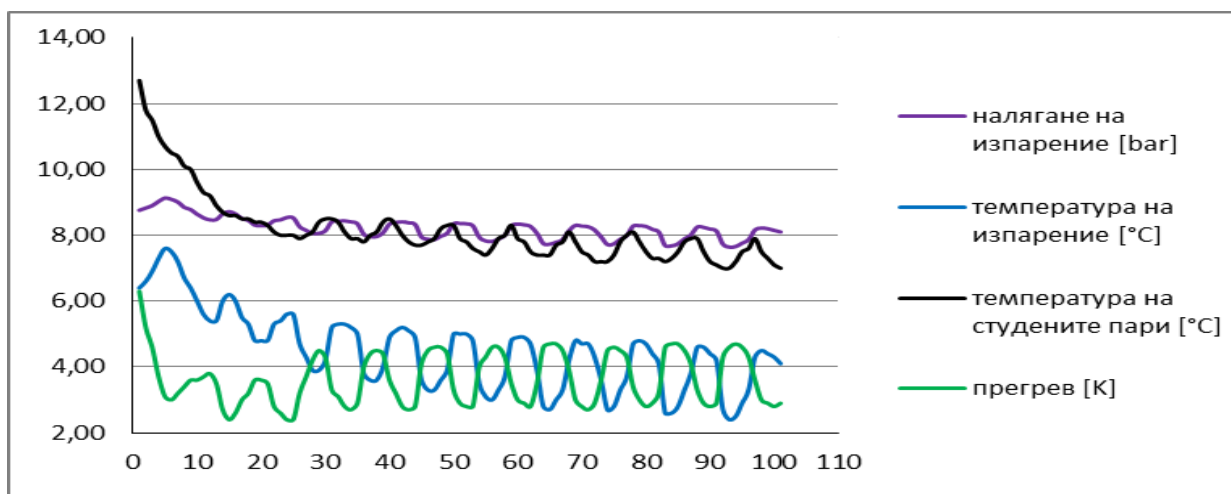
Фиг. 8 Рязко понижаване на смукателното налягане при пуск на системата



Фиг. 9 Плавно понижаване на смукателното налягане при пуск на системата

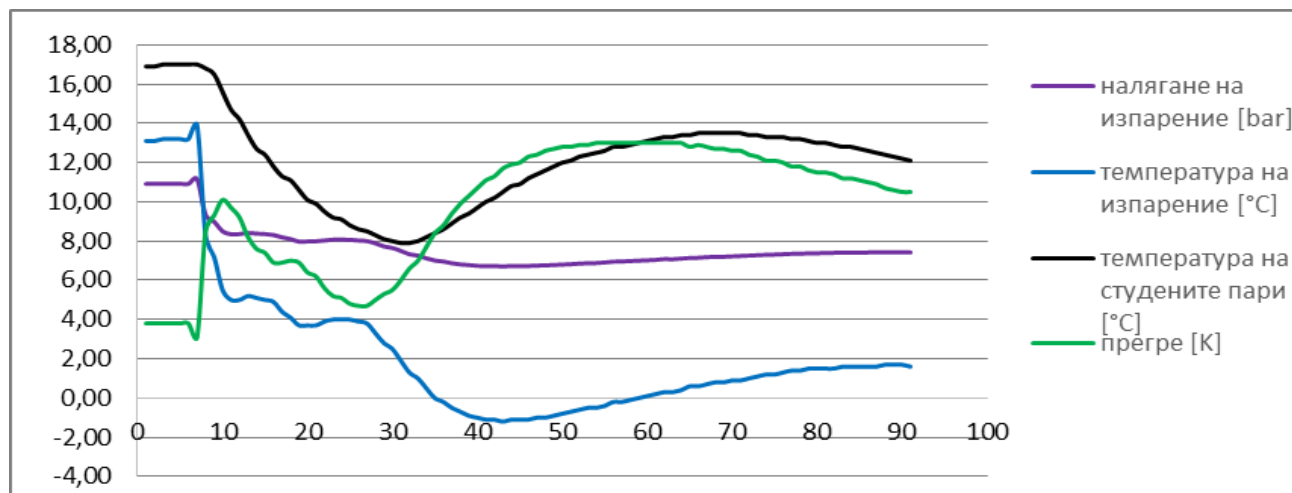
Фиг. 9 показва графика описваща изменението на смукателното налягане при водоохлаждащ агрегат, чийто настройки са оптимизирани. Решението се състои в използване на комбинация от няколко настройки и баланса в зададените им стойности. Тези настройки са време, за което вентилът се отваря преди пуск на компресора, първоначално положение на вентила, време за което се задържа първоначалното положение на вентила и достигане на минимално налягане след отваряне на вентила, разрешаващо пуск на компресора. Определянето на точните стойности на тези настройки трябва да се осъществява във всеки конкретен случай на база анализ на проведени при въвеждане в експлоатация на системата измервания.

Вторият пример отново демонстрира проблем характерен за системите с TRV, който не би трябвало да се наблюдава при ЕРВ. Разглеждания експеримент е извършен на посочената по-горе ефективна водоохлаждаща система, в която е установен коректния баланс на елементите и са спазени всички предпоставки за оптимално използване на възможностите на ЕРВ. Въпреки това от графиката на Фиг. 10 се наблюдава класически „хънтинг“. Той се дължи на факта, че при „търсене“ на минималния стабилен прегрев ЕРВ достига стойности под 3 К, намиращи се на границата на МСП – линията. Поради факта че системата работи с пластинчат изпарител и относително къс смукателен тръбопровод, с оглед на мощността, то се наблюдава ясно изразена нестабилност и връщане на течен хладилен агент поради неспособността на вентила да отговори на голямата динамика.



Фиг. 10 Неустойчива работа на хладилната система

Решението в този случай, се състои в увеличаване на параметъра ограничаващ минималната стойност на прегрева при регулиране. Така при намаляване на прегрева, вентилът не навлиза в зоната на нестабилност и поддържа стойностите на оптималния прегрев в зависимост от натоварването на изпарителя.



Фиг. 11 Устойчива работа на хладилната система

#### 4. Заключение

Настоящият доклад показва, че за ефективното използване на предимствата на EPB е необходимо правилното определяне на избраните проектни условия, както и осигуряване на определен запас от мощност при оразмеряване на вентилите. Още по-важно е заключението, че дори съблюдаването на определени технически предпоставки при проектиране на хладилната система, не гарантира ползите от използването на EPB. За целта е необходимо да бъдат проведени измервания и анализ на работните параметри на хладилната система. Получените изводи трябва да доведат до оптимизация на настройки като П, И и Д компонентите на електронния регулатор, стойностите определящи момента на първоначалното отваряне на вентила, неговото положение и т.н.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Божков, Цв., Влашки, С. и Стоянов, Й. (2014). *Сравнителен анализ на характеристиките на електрическите и термостатичните регулиращи вентили*. Научна конференция ЕМФ 2014, сборник доклади.
2. Korn, D. (2011). *Effizienter Betrieb von Kälteanlagen*. VDE VERLAG GMBH. Berlin. Offenbach.
3. Sidel, R. and Noack, H. (2011). *Der Kältemonteur*. VDE VERLAG GMBH. Berlin. Offenbach.
4. Breidenbach, K. (2010). *Der Kälteanlagenbauer Band 2: Grundlagen der Kälteanwendung*. 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: [emco\\_ltd@abv.bg](mailto:emco_ltd@abv.bg)

инж. Светослав Руменов Влашки - студент, ТУ – София, ЕМФ, катедра ТХТ,

моб. тел: +359/ 878 126 622, e-mail: [svetoslav.vlashki@gmail.com](mailto:svetoslav.vlashki@gmail.com)

инж. Йордан Георгиев Стоянов - студент, ТУ – София, ЕМФ, катедра ТХТ, моб. тел: +359/ 899 833 513,

e-mail: [danko\\_st@abv.bg](mailto:danko_st@abv.bg)