



Наръчник по енергийна ефективност и енергиен мениджмънт

**Програма „Енергийна ефективност и зелена икономика”
(ВЕЕСИФ): Подготовка на проекта, обучение на персонала
и помощ при внедряване**

Консултантски договор №: C22081/EEFF-2011-05-03

НАРЪЧНИК ПО ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ И ЕНЕРГИЕН МЕНИДЖМЪНТ

Наръчникът е изготвен под общата редакция на доц. д-р инж. Илия Кр. Илиев

Авторски колектив:

доц. д-р инж. Илия Илиев

проф. д-р инж. Никола Калоянов

доц. д-р инж. Пламен Граматиков

доц. д-р инж. Ангел Терзиев

проф. д-р инж. Иван Палов

доц. д-р инж. Стефан Стефанов

доц. д-р инж. Кирил Сираков

доц. д-р инж. Веселка Камбурова

Наръчникът е предназначен за подготовка на проекти, обучение на персонал и помощ при внедряване на проекти по енергийна ефективност за оперативна програма „Енергийна ефективност и зелена икономика“.

Учебното пособие е подходящо за студенти, обучавани в университети и сертифицирани енергийни одитори, занимаващи се с обследване на енергийната ефективност и възобновяеми енергийни източници.

© Рецензент:

доц. д-р инж. Валентин Василев Бобилов –

Русенски университет "Ангел Кънчев"

ISBN: 978-619-90013-8-7

СЪДЪРЖАНИЕ

1. ВЪВЕДЕНИЕ И РАМКА НА ПРОГРАМАТА	8
2. ВИДОВЕ ЕНЕРГИЯ	10
2.1. РАЗЛИЧНИ ФОРМИ НА ЕНЕРГИЯ	10
2.2. ЕНЕРГИЯ И УСТОЙЧИВО РАЗВИТИЕ	11
2.3. ЕНЕРГИЙНО ИНТЕНЗИВЕН ЛИ Е ВАШИЯТ БИЗНЕС?	12
2.4. ЕФЕКТИВНО И НЕЕФЕКТИВНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА	13
2.4.1. Коефициент на полезно действие	13
2.4.2. Показатели за енергийна ефективност	14
2.4.3. Подобряване на енергийната ефективност	15
3. УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНОТО ПОТРЕБЛЕНИЕ	16
3.1. ПРИНЦИПИ НА ЕНЕРГИЙНИЯ МЕНИДЖМЪНТ	16
3.2. КОМПАНИИ ЗА ЕНЕРГИЙНИ УСЛУГИ (ЕСКО).....	19
3.2.1. Роля на компаниите за енергийни услуги в повишаване на енергийната ефективност.....	19
3.2.2. Метод на частични измервания („Retrofit Isolation”).....	20
3.2.3. Цялостен метод („Whole Facility”)	20
4. ОБСЛЕДВАНЕ ЗА ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ	21
4.1. НАЧАЛО НА ОДИТА	21
4.2. ПОДГОТОВКА НА ОДИТА	24
4.2.1. Събиране на изходни данни и информация	24
4.2.2. Инструменти на одитора.....	26
4.3. ИЗВЪРШВАНЕ НА ОДИТА	30
4.3.1. Физически и оперативни данни за съоръжението	30
4.3.2. Работно посещение на място.....	32
4.3.3. Следодиторски анализ.....	35
4.3.4. Заключение и препоръки	37
4.4. ОДИТОРСКИ ДОКЛАД.....	37
4.4.1. Примерен формат на подробен доклад за енергиен одит	38
4.4.2. Примерен формат на опростен доклад за енергиен одит.....	39
4.5. ДЕЙНОСТИ СЛЕД ОДИТА. ПРИЛАГАНЕ НА МЕРКИ ЗА ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ	40
5. ОСВЕТИТЕЛНИ УРЕДБИ	41
5.1. ВЪВЕДЕНИЕ.....	41
5.2. ОПИСАНИЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ИКОНОМИИ	43
5.2.1. Ефикасност (светлинен добив)	43
5.2.2. Компоненти на системите за осветление.....	44
5.2.3. Ориентиrowъчен работен лист за оценка на осветителни уредби.....	45
6. ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИ СИСТЕМИ	46
6.1. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ЕНЕРГИЕН МЕНИДЖМЪНТ	47
6.2. ЗАПЛАЩАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ.....	48
6.2.1. Заплащане на електрическата енергия според действащата тарифа в България.....	48

6.2.2. Възможности пред абонатите за избор на начин на измерване.....	50
6.2.3. Търговия с електрическа енергия в България. Привилегировани потребители, балансиращ механизъм и нормативна уредба	51
6.3. ПОДОБРЯВАНЕ ФАКТОРА НА МОЩНОСТТА	53
6.3.1. Необходимост от компенсирание на реактивната мощност.....	53
6.3.2. Загуби на активна енергия вследствие пренасянето на реактивна енергия	55
6.3.3. Нормативна база	55
6.3.4. Избор на мощността на кондензаторните батерии	56
6.3.5. Избор на кондензаторна уредба.....	58
6.3.6. Ефект от реконструкцията на кондензаторна уредба	58
6.4. НАМАЛЯВАНЕ КОНСУМАЦИЯТА НА ЕНЕРГИЯ	62
6.5. ОРИЕНТИРОВЪЧЕН РАБОТЕН ЛИСТ ЗА ОЦЕНКА НА ЕЛЕКТРОСНАБДИТЕЛНИ СИСТЕМИ	63
7. ИНДУСТРИАЛНО ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПАРНИТЕ КОТЛИ	64
7.1. ВИДОВЕ КОТЛИ И КЛАСИФИКАЦИЯ.....	65
7.1.1. Пламъчнотръбни парни котли.....	65
7.1.2. Водотръбни котли	67
7.1.3. Окомплектовани котли	68
7.1.4. Котли с кипящ слой.....	69
7.1.5. Замърсяване на нагревните повърхности на котлите	70
7.2. КАЛОРИЧНОСТ НА ГОРИВАТА	71
7.2.1. Параметри при изгарянето на въглища	74
7.2.2. Какви параметри трябва да се поддържат за гарантиране на добра ефективност при изгаряне на мазут.....	75
7.2.3. Газообразни горива	77
7.3. ЗАГУБИ НА ТОПЛИНА С ИЗХОДЯЩИТЕ ДИМНИ ГАЗОВЕ	77
7.3.1. Прав топлинен баланс.....	77
7.3.2. Обратен топлинен баланс.....	78
7.4. ПРЕПОРЪКИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА К.П.Д. НА КОТЛИТЕ.....	80
7.4.1. Ориентиловъчен работен лист за оценка на котелна система	82
7.5. ПАРОКОНДЕНЗНИ СИСТЕМИ.....	85
7.5.1. Важни свойства на парата	88
7.5.2. Компоненти на парокондензните системи.....	89
7.5.3. Кондензни гърнета и тяхното приложение.....	90
7.5.4. Възможности за енергоспестяване в парните системи.....	93
7.5.5. Ориентиловъчен работен лист за оценка на парокондензните системи.....	95
8. СИСТЕМИ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯТА	96
8.1. ФАКТОРИ ЗА ПРАВИЛНА РАБОТА НА ОБОРУДВАНЕ ЗА ОТОПЛЕНИЕ/ ОХЛАЖДАНЕ.....	101
8.1.1. Чистота на теплообменните повърхности	101
8.1.2. Изолиране на оборудването за отопление и охлаждане	102
8.1.3. Сметчаване изискванията за овлажняване	103
8.2. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ РАЗХОДИ	104
8.2.1. Мерки за намаляване на разходите	105
8.2.2. Други евтини енергоспестяващи мерки.....	105
8.2.3. Допълнителни ЕСМ чрез модернизация.....	106
8.3. ОХЛАДИТЕЛНИ СИСТЕМИ	107
8.3.1. Охлаждане/Замразяване.....	108
8.3.2. Класификация за безопасност на хладилните агенти	109
8.3.3. Чилъри 111	
8.3.4. Термопомпени системи	114
8.3.5. Мерки за намаляване на разходите	116
8.4. ВЕНТИЛАЦИЯ	117
8.4.1. Принципи на вентилиране	119

8.4.2. Икономии от подобряване на енергийната ефективност	119
8.5. СИСТЕМИ ЗА КЛИМАТИЗИРАНЕ	121
8.5.1. Еднозонови системи.....	122
8.5.2. Системи с променлив въздушен обем.....	123
8.5.3. Регенерационни системи	124
8.5.4. Многозонови системи	125
9. ВОДНИ СИСТЕМИ И СИСТЕМИ ЗА СГЪСТЕН ВЪЗДУХ.....	126
9.1. Водни системи за отопление и охлаждане	126
9.2. СИСТЕМИ ЗА СГЪСТЕН ВЪЗДУХ	129
9.2.1. Въведение	129
9.2.2. Видове компресори и компресорни системи за сгъстен въздух	129
9.2.3. Ефикасна работа на системите за сгъстен въздух.....	132
9.2.4. Компресорна модуляция при оптимални параметри в налягането.....	136
9.2.5. Определяне на количеството на изтичащия въздух и загубите на енергия	138
9.2.6. Икономия на електрическа енергия при експлоатация на компресори	139
9.2.7. Списък на мероприятията за проверка за енергийна ефективност в система за сгъстен въздух	140
10. ВЕНТИЛАТОРИ И ПОМПИ	142
10.1. ДВИГАТЕЛИ И ЗАДВИЖКИ	142
10.1.1. Особенности на двигателите и задвижките	142
10.1.2. Съвети за подобряване на енергийната ефективност на двигатели и задвижки	148
10.2. ВЕНТИЛАТОРИ.....	148
10.2.1. Съвети за подобряване на енергийната ефективност при вентилаторите	150
10.3. ПОМПИ.....	151
10.3.1. Съвети за съхранение на енергията в помпените системи	153
11. КОМПРЕСОРИ И ТУРБИНИ	156
11.1. КОМПРЕСОРИ	156
11.1.1. Въведение	156
11.1.2. Анализ на различните видове компресори	158
11.1.3. Енергийна ефективност и регулиране на системи за сгъстен въздух	161
11.2. ТУРБИНИ	167
11.2.1. Типове турбини.....	168
11.2.2. Подобряване на енергийната ефективност на турбините	169
12. ИЗМЕРВАНЕ, ОТЧИТАНЕ, НАБЛЮДЕНИЕ И СРЕДСТВА ЗА АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ.....	169
12.1. НЕОБХОДИМОСТ ОТ АВТОМАТИЧНИ УПРАВЛЯВАЩИ УСТРОЙСТВА	171
12.1.1. Елементи на автоматичното управление	171
12.1.2. Точност 173	
12.2. ВИДОВЕ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ	173
12.2.1. Автономни системи за управление	174
12.2.2. Пневматични системи за управление	174
12.2.3. Електрически системи за управление.....	174
12.2.4. Електронни системи за управление	175
12.2.5. Цифрова система за управление.....	175
12.3. ОБОРУДВАНЕ ЗА АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ	175
12.3.1. Чувствителни елементи (сензори, датчици)	175
12.3.2. Регулатори.....	175
12.3.3. Управляващи устройства	176
12.3.4. Съвременни технологии за ефективно управление на съоръженията.....	176

12.4. ВЪЗМОЖНОСТИ НА ЕНЕРГИЙНИЯ МЕНИДЖМЪНТ	177
12.4. ЕКОЛОГИЧНИ СЪОБРАЖЕНИЯ.....	178
13. ПЕЦИ И СУШИЛНИ	178
13.1. ПЕЦИ.....	179
13.1.1. Типове и класификация на пециите.....	179
13.1.2. Топлообмен при пециите	183
13.1.3. Характеристики на енергоефективна пец.....	183
13.1.4. Съвети за подобряване на енергийната ефективност в пециите.....	186
13.2. ТЕХНОЛОГИИ ЗА СУШЕНЕ	186
13.3. ПОДОБРЯВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ	187
13.4. ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ЕНЕРГИЕН МЕНИДЖМЪНТ	190
14. ИЗПОЛЗВАНЕ НА ОТПАДЪЧНА ТОПЛИНА.....	191
14.1. ТЕХНОЛОГИИ ЗА РЕКУПЕРАЦИЯ НА ТОПЛИНА	191
14.1.1. Пряко използване	193
14.1.2. Топлообменници.....	193
14.1.3. Термопомпи	194
14.1.4. Парова рекомпресия.....	194
14.1.5. Многоетапни операции.....	194
14.2. ВЪЗМОЖНОСТИ НА ЕНЕРГИЙНИЯ МЕНИДЖМЪНТ	194
15. КОМБИНИРАНО ПРОИЗВОДСТВО НА ТОПЛИННА И ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ (КОГЕНЕРАЦИЯ).....	196
15.1. КОГЕНЕРАЦИОННА ТЕХНОЛОГИЯ	197
15.1.1. Видове когенерационни инсталации.....	197
15.1.2. Когенерационни инсталации на биомаса.....	200
15.2. ВЪЗМОЖНОСТИ НА ЕНЕРГИЙНИЯ МЕНИДЖМЪНТ	201
16. АЛТЕРНАТИВНИ ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ	203
16.1. СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ.....	204
16.2. ТОПЛО-АКУМУЛИРАЩИ СИСТЕМИ.....	206
16.3. АБСОРБЦИОННИ И ГЕОТЕРМАЛНИ ТЕРМОПОМПИ	209
16.3.1. Абсорбционни термопомпи	209
16.3.2. Геотермални термопомпи	210
16.4. ОТПАДЪЧНА ТОПЛИНА ОТ ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ	214
16.4.1. Ползи от използването на отпадъчна топлина	215
16.4.2. Оползотворяване на отпадна топлина с термопомпи	215
16.4.3. Смесителни (отворени) топлообменници за отпадна топлина	216
16.4.4. Каскадно (серијно) използване на технологични въздух и вода	217
16.4.5. Затворени топлообменници.....	217
16.4.6. Байпасни системи	218
16.4.7. Намаляване на енергийните разходи.....	218
16.4. ПРЕЧИСТВАТЕЛНИ СТАНЦИИ ЗА ОТПАДЪЧНИ ВОДИ (ПСОВ).....	219
17. ПРИЛОЖЕНИЕ: МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЕМИСИИТЕ ОТ ВЪГЛЕРОДЕН ДИОКСИД.....	220
17.1. МЕТОДИКА ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА CO ₂ ЕМИСИИТЕ.....	220
17.1.1. Емисионни фактори. Методология и стойности	220
17.1.2. Емисионни фактори на CO ₂ от спестена или генерирана електрическа енергия	221
17.2. ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ИКОНОМИИТЕ	222

18. ЛИТЕРАТУРА225

1. ВЪВЕДЕНИЕ И РАМКА НА ПРОГРАМАТА

Програма “Енергийна ефективност и зелена икономика“ (Програмата) е съвместна инициатива на Министерството на икономиката, енергетиката и туризма (МИЕТ) и Европейската банка за възстановяване и развитие (ЕБВР), насочена към насърчаване на устойчиви енергийни решения за малки и средни предприятия (МСП) в България.

Целите на Програмата са:

- Подобряване на ефективността и производителността на полезните за околната среда технологии, използвани в МСП.
- Намаляване на енергоемкостта и неблагоприятното екологично въздействие чрез насърчаване на полезни за околната среда, намаляващи отпадъците и енергоспестяващи производствени технологии.

Тази нова програма е иновативна, защото обединява в един процес схема за безвъзмездна финансова помощ, финансирана със средства от Структурните фондове на ЕС и заемно финансиране от търговските банки на принципа „на едно гише“.

Компонентът за безвъзмездна финансова помощ по Програмата се предоставя от МИЕТ в качеството му на Управляващ орган на Оперативна програма „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика “2007-2013” (ОП „Конкурентоспособност“).

Заемният компонент се управлява от ЕБВР и се предоставя в рамките на Кредитна линия “Енергийна ефективност за конкурентоспособна индустрия“ в България (ВЕЕСИФ). По този инструмент се предоставят кредитни линии на местни търговски банки (участващи банки), по които ще се отпускат заеми на МСП.

Третият компонент “Техническа помощ” осигурява съдействие при изпълнението на Програмата.

Комбинирайки в един инструмент безвъзмездна финансова помощ, кредити и техническа помощ, тази нова програма преодолява бариерите и ограниченията, пред които са изправени българските МСП при проектиране, изпълнение и финансиране на устойчиви енергийни проекти.

МСП могат да кандидатстват както с проекти за енергийна ефективност (ЕЕ), така и с проекти за възобновяеми енергийни източници (ВЕИ).

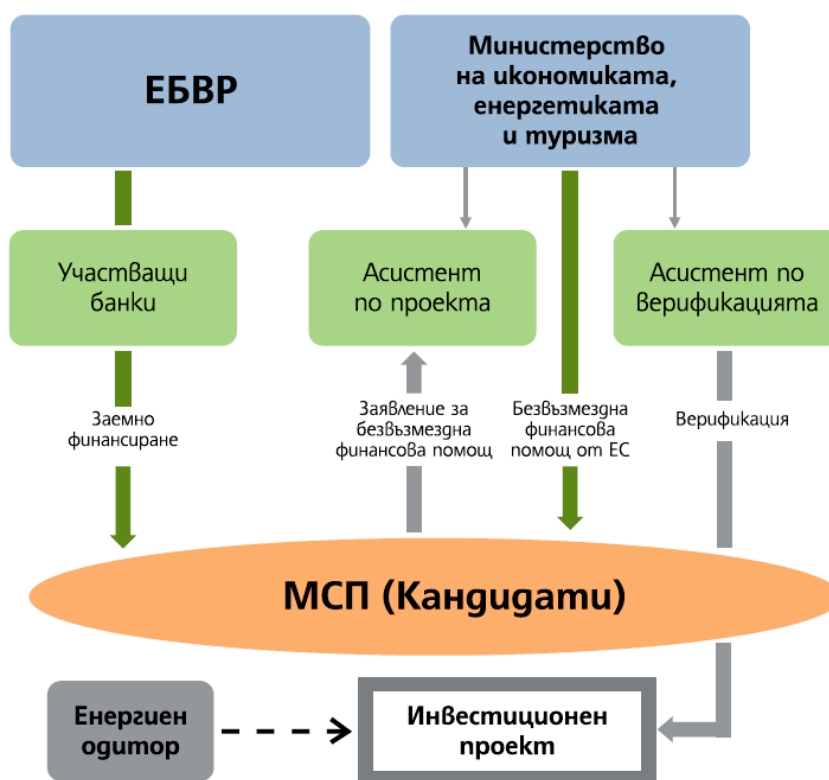
- Допустими ЕЕ проекти са инвестиции, водещи или до намаляване на потреблението на енергия, или горива спрямо базовата линия и/или до намаляване на потреблението на енергия за единица произведена продукция. За избягване на съмнения, инвестициите в комбинирано производство на топлина и електроенергия (когенерация) и преминаване на друг вид гориво, се считат за допустими.
- Допустими ВЕИ проекти са инвестиции в производството на енергия единствено за нуждите на собственото потребление на предприятието с помощта на следните технологии: соларна (за подгръване на вода и за

отопление), геотермална и термопомпи и вторична биомаса. За избягване на съмнения, инвестициите в технологии за производство на енергия от възобновяеми енергийни източници, която не е за собствените нужди на предприятието, са недопустими.

Техническата помощ се осигурява от двама консултанти – Асистент по проекта (АП) и Асистентът по верификацията (АВ).

Асистентът по проекта, с който МИЕТ ще сключи договор, ще осигури подкрепа на МИЕТ при изпълнение на Програмата и ще съдейства в процеса на разглеждане на формулярите за кандидатстване и одобряване на проектните предложения. След като проектите бъдат изпълнени, Асистентът по верификацията, с който също ще бъде сключен договор, ще верифицира техническото изпълнение на всеки проект. Успешната верификация е предварително условие за изплащането на безвъзмездната финансова помощ.

Нагледна схема на функционирането на Програмата е показана на Фигура 1.1.



Фиг. 1.1. Функциониране на Програмата.

Целта на този наръчник по енергийна ефективност и управление на енергийните разходи (енергиен мениджмънт) е да стимулира търсенето на начини, по които мерките за повишаване на енергийната ефективност биха могли да бъдат приложени в промишлените предприятия, и да подпомогне успешното въвеждане на такива мерки. Наръчникът включва най-типичните енергоспестяващи мерки в различни браншове на българската промишленост.

Материалът в различните глави формално е разделен на две части - мерки за подобряване на енергийната ефективност и различни аспекти на промишления енергиен мениджмънт.

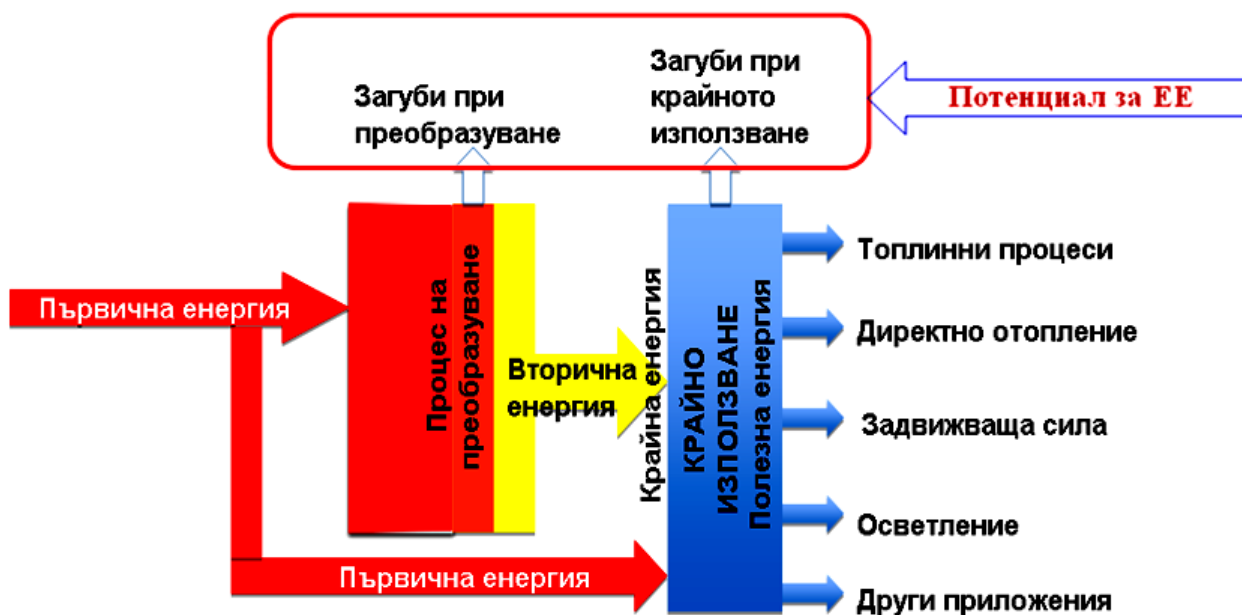
2. ВИДОВЕ ЕНЕРГИЯ

2.1. Различни форми на енергия

Ние използваме енергията всеки ден от нашия живот. Енергията ни помага да пътуваме от един град в друг, енергията ни дава светлина, тя отоплява нашите домове. Но какво всъщност е „Енергия“?

Енергията се среща в различни форми. Тя нито се „създава“, нито се „разрушава“, а само може да се превръща от една форма в друга, за да бъде удобна за употреба. Произходът на различните форми на енергията може да се проследи назад към слънчевата енергия, получена от Земята сега или в миналото.

Различните форми на енергия могат да се класифицират в четири категории - *първична, вторична, крайна и полезна* енергия за наше удобство (Фиг. 2.1).



Фиг. 2.1. Различни форми на енергията [1].

Първична енергия е енергията във формата, в която тя се среща и добива в Природата. Слънчевата, вятърната и ядрената енергия, хидропотенциалът, биомасата, суровият нефт и въглищата са примери за първична енергия.

Вторична енергия е формата, в която първичната енергия се превръща за по-удобно използване. Например електроенергията е вторична форма на енергия, която се получава, когато първичната форма се преобразува в съответния тип електростанция. Дървените въглища и продуктите от рафиниране на нефт, например бензин и керосин, са други примери за вторична енергия.

Крайна енергия е този вид енергия, в който тя се въвежда в устройство за преобразуване в мястото на крайно потребление. Електроенергията, произведена в електроцентралите, трябва да бъде пренесена до крайния потребител, при което част от електричеството се губи под формата на топлинни загуби в електропреносната мрежа, а останалата електроенергия (крайна енергия) се подава например на двигатели за задвижване на оборудването в даден завод (краен потребител).

Полезна енергия е тази, която всъщност върши полезна работа. Има енергийни загуби в двигателя, които се проявяват като топлина и шум и в резултат количеството енергия, което всъщност отива в задвижването на оборудването, е по-малко от това, което е подадено към двигателя, т.е. от крайната енергия.

Възобновяема и невъзобновяема енергия

Всяка форма на енергия, която може да се използва без изчерпване в обозримо бъдеще, се счита за възобновяема. Слънцето ще допълни ресурса или незабавно (при слънчеви фотоволтаици), или през следващия сезон (за вода, източена от басейна на водоелектрическа централа), или в рамките най-много на няколко години (при производство на биомаса за енергийни нужди). Биомасата е използвана от човека отдавна за добиване на топлина. Водната енергия се използва за директна движеща сила (например за задвижване на воденици), както и за производство на електрическа енергия. Използването на директна слънчева енергия за отопление или за производство на електроенергия е възобновимо. Геотермалната енергия (използване на топлината под повърхността на Земята) също се счита за възобновяема енергия.

Всички изкопаеми горива (нефт, въглища и техните производни, както и природен газ) са невъзобновяеми. Тези ресурси са ограничени и те се изчерпват бързо, което води до покачване на цената и страхове от ограничаване на доставките. Всички държави и индивидуални потребители, особено мощните индустрии, усилено се стремят да поддържат баланса между употребата на изкопаеми и възобновяеми енергийни източници.

2.2. Енергия и устойчиво развитие

Какво е „енергия“? Днес стандартното научно определение е, че енергията е способността за извършване на работа, или че това е скоростта, с която енергията се променя от една форма в друга или се пренася от едно място на друго.

Основна единица за измерване на енергията в SI система е **Джаул (J)**, а основна единица за измерване на мощността е **Ват (W)**, което представлява изменението на енергията за единица време (скорост на изменение на енергията), J/s.

Терминът „устойчивост“ влезе в масова употреба сравнително скоро, след публикуване на доклада „Нашето общо бъдеще“ от Комисията „Брунтланд“ към ООН през 1987 година. Комисията определя **устойчивостта**, и по-специално **устойчивото развитие**, като *„развитие, което удовлетворява нуждите на*

настоящите поколения, без да излага на риск възможността на бъдещите поколения да посрещнат своите собствени нужди” (Организация на обединените нации, 1987 г.).

В контекста на енергията, устойчивото развитие означава използването на такива енергийни източници:

- които не са значително изчерпани от продължителна употреба;
- използването на които не води до емисии на замърсители или други опасности за околната среда в значителен мащаб, и
- използването на които не води до възникване на продължителни опасности за здравето или социални несправедливости.

2.3. Енергийно интензивен ли е вашият бизнес?

В зависимост от дела на общите разходи на компанията, изразходвани за енергия, всяка производствена бизнес операция до голяма степен може да се класифицира като (а) високо енергоинтензивна или (б) умерено енергоинтензивна. Няма твърдо общоприето правило за такава класификация, но ако някоя компания изразходва повече от 10% от своите периодични разходи за енергия, тя като цяло се класифицира като енергоемък бизнес.

Някои търговски сгради (като луксозни хотели) и някои производствени операции (напр. производството на цимент) използват около 50% от общите си разходи за енергия. Те се класифицират като високо енергийноинтензивен бизнес. Една фирма в транспортния бизнес, в която над 50% от общите разходи са за гориво, най-вероятно също ще бъде приемана като силно енергоемка.

Умерено енергоинтензивните индустрии като керамична и стъкларска промишленост, курортни хотели и търговски сгради, изразходват между 30 и 50% от своите разходи за енергия. Други производствени сектори, например текстилният и шивашкият, могат да попаднат в по-малко енергоемка категория.

Колко енергийно интензивен е Вашият бизнес? Това може да се определи по следния начин:

$$\text{Енергийна интензивност} = \frac{\text{Общи разходи за енергия в рамките на една година}}{\text{Общи повтарящи се разходи в рамките на една година}}$$

Пример: Таблицата по-долу показва разходите за тон произведена продукция в малка фабрика. Да се изчисли енергийната интензивност в този случай:

Таблица 2.1. Цена на тон продукция

Вид разход	Цена (€/t)
Материали за производство (суровини)	42 117.34
Вода	55.78
Пара (т. е. Нефт)	2 263.87
Електричество	8 172.37
Други разходи	18.39
Труд (заплати на персонала)	3 159.18

Ремонт и поддръжка	1 719.34
Режийни разноски	8 171.34
Амортизация	665.63
Корекции за неизразходвани запаси	-3 350.04
Общи производствени разходи	62 993.20

Общо разходи за енергия = 2 263.87 + 8 172.37 = 10 436.24 €/t

$$\text{Енергийна интензивност} = \frac{10,436.24}{62,993.20} = 16.6\%$$

Следователно това е една умерено енергоемка (енергоинтензивна) промишленост. По подобен начин може да определите енергийната интензивност на Вашия бизнес или производствена операция и можете да я сравните с тази на Вашите конкуренти.

2.4. Ефективно и неефективно използване на енергията

Енергийната ефективност (и обратно, неефективност) на съоръженията може да се разглежда по два начина, които могат да бъдат определени като [1]:

1. Резултат, получен от вложената енергия. Той никога не може да бъде 100% поради обективните закони на термодинамиката. Термодинамичната (топлинна) необратимост е в основата на неефективността и включва предаване на топлоенергия чрез проводимост, конвекция или радиация. Например преносът на топлина не се извършва само в желаната посока, т.е. в направление на процеса, но също и през стените на източника на тази топлина – ядрен реактор, пещ, котел и т.н. Въпреки това загубите могат да бъдат намалени чрез различни техники, например намаляване на лъчистата загуба на топлина от горивни процеси.

2. Внимателното (или ефективно) използване на енергията, както и когато тя се използва в оптимални количества. Неефективността (или неефективното използване) е резултат от несъвпадане на търсенето и предлагането на енергия, вкл. лошо проектиране, експлоатация и поддръжка; работа на оборудването „на празен ход“, т.е. когато не е необходимо, напр. осветлението; протичане на процеси при по-висока температура, отколкото е необходимо; липса на подходящо съхранение на енергия и т.н.

2.4.1. Коефициент на полезно действие

Ключовата дума, използвана при рационално преобразуване на енергията, е „ефективност“. Когато енергията се преобразува от първична в полезна форма, по целия път на трансформация се появяват загуби (Фиг. 1.1). Доставчикът и потребителят имат контрол над тези обменни процеси и, следователно, могат да положат усилие да подобрят ефективността и да намалят загубите на енергоресурси.

Ефективността на процесите при преобразуване на енергията (често изразявана чрез **коефициента на полезно действие**, съкратено к.п.д.) в дадена система се определя като **резултатът от полезната енергия, разделен на**

общото количество входяща енергия. На практика това се изразява като процент от входящата енергия:

$$\text{Ефективност} = \frac{\text{Изходяща енергия}}{\text{Входяща енергия}} \times 100\%$$

Пример: Каква е ефективността (к.п.д.) на един цялостен процес на преобразуване на въглища в светлина?

Ще разгледаме какво се случва с 1 тон въглища, еквивалентни на 28 GJ (гигаджаула) първична енергия в земята:

Ако 2.5% от тази налична енергия се използва за добиването и транспортиране на въглищата (т. нар. „собствени нужди”), то енергията, влизаща в електроцентрала, е 97.5% от първичната:

$$\text{Енергия, влизаща в електроцентрала} = 0.975 \times 28 = 27.3 \text{ GJ}$$

Ако приемем, че ефективността при изгаряне на горивото за производство на електричество в съвременна въглищна електроцентрала (т. нар. топлинен к.п.д.) е 35%, то:

$$\text{Електрическа енергия, напускаща електроцентрала} = 0.35 \times 27.3 = 9.56 \text{ GJ}$$

Средно около 7.5% от тази електроенергия необратимо се губи във вид на топлина при преноса по жиците, в трансформаторите или по пътя до крайния потребител, т.е. той получава само 92.5%:

$$\text{Доставена на крайния потребител електроенергия} = 0.925 \times 9.56 = 8.84 \text{ GJ}$$

Нажежаема електрическа крушка превръща само 5% от тази електроенергия в светлина, така че:

$$\text{Полезната светлина като краен резултат} = 0.05 \times 8.84 = 0.44 \text{ GJ}$$

Така входящата първична енергия от 28 GJ произвежда като краен резултат 0.44 GJ полезна светлинна енергия, т.е. енергийната ефективност на процеса е само 1.6%:

$$\text{Обща енергийна ефективност} = \frac{0.44}{28} \times 100\% = 1.6\%$$

2.4.2. Показатели за енергийна ефективност

При определяне характеристиките на енергийната ефективност в рамките на ЕС се наблюдават две основни тенденции:

1. Характеристики въз основа на разхода на енергия, и
2. Характеристики въз основа на вредните емисии, породени от потреблението на енергия.

Енергийната ефективност е определена в т.нар. Директива на енергоемките продукти 2005/32/ЕС [2] като „**съотношение между резултата от**

дадена производителност, услуга, стоки или енергия и вложеното количество енергия.” Това е количеството консумирана енергия за производството на единица продукция, по-нататък наричано *специфичен разход на енергия* (CPE) и е терминът, който най-често се използва в промишлеността.

В най-простия случай предприятието ще произвежда един основен продукт. Тогава най-просто CPE може да се определи като:

$$CPE = \frac{\text{изразходвана енергия}}{\text{брой произведени продукти}} = \frac{(\text{внесена енергия} - \text{изнесена енергия})}{\text{произведени продукти или услуги}}, \text{ GJ/t}$$

CPE е физична величина с размерност (GJ/тон) и може да бъде използвана за оценка на предприятия, произвеждащи продукти, които количествено се измерват в мерни единици за маса. Той може да бъде изразен и чрез други съотношения, като GJ/m² (например при покрития на намотки, производство на строителни плоскости и т.п.).

За енергопроизводството (генериране на електрическа или топлинна енергия, изгаряне на отпадъци и др.) понякога може да е по-разумно да се определи *фактора на енергийната интензивност* (ФЕИ), равен на отношението на произведената енергия към внесена енергия (GJ/GJ). Икономистите обикновено разбират ФЕИ като отношение на използваната енергия към финансовата стойност на продукта, изразена като бизнес оборот, добавена стойност, БВП и т.н. (GJ/EUR), например:

$$ФЕИ = \frac{\text{изразходвана енергия}}{\text{стойност на произведената продукция}}, \text{ GJ/EUR}$$

Понякога обаче, понеже цената на продукцията обикновено се покачва с течение на времето, ФЕИ може да намалее, без да има увеличение на физическата енергийна ефективност! Следователно терминът ФЕИ трябва да се избягва при оценяване на физическата енергийна ефективност на дадено съоръжение [3].

В редица случаи ситуацията може да бъде по-сложна, например при производство на множество различни видове продукти и продуктовият микс се променя във времето или когато резултатът е услуга, например дейност на фирма за управление за отпадъците. В такива случаи CPE може да се определи като:

$$CPE = \frac{\text{изразходвана енергия}}{\sum \text{произведени продукти}} = \frac{(\text{внесена енергия} - \text{изнесена енергия})}{\sum \text{произведени продукти}}, \text{ GJ/t}$$

2.4.3. Подобряване на енергийната ефективност

Директива 2006/32/ЕС [4] дефинира подобряването на енергийната ефективност като „*увеличение на ефективността при крайното потребление на енергия в резултат на технологични, поведенчески и/или икономически промени*”.

Следователно повишаването на ефективността може да се изрази като [5]:

- получаване на същото количество продукция при намалена консумация на енергия, или
- получаване на по-голямо количество продукция с неизменна консумация на енергия, или
- получаване на такова количество продукция, което в относителни единици да надвишава увеличената консумация на енергия.

Основната цел от въвеждането на показателите за енергийна ефективност е те да са в състояние да следят подобряването на енергийната ефективност на дадено производствено предприятие и даден производствен цикъл с течение на времето и да се види въздействието на внедрени мерки и проекти за подобряване на енергийната ефективност върху енергийните характеристики на производствения процес/ предприятие.

CPE показва какво количество енергия се използва за производството на единица продукция, но само един единствен такъв показател е с ограничена употреба без други референтни данни.

Индексът за енергийна ефективност (ИЕЕ) може да се използва, за да се покажат промените в определен период от време и е по-полезен при мониторинг на енергийната ефективност на система, процес или съоръжение. Той се определя, като се раздели референтен CPE (CPE_{ref}) на CPE на разглежданата машина, процес или предприятие. CPE_{ref} може да бъде или референтно число, което е общоприето за промишления сектор, към който принадлежи разглеждания производствен процес, или CPE на производствения процес в определена референтна година:

$$ИЕЕ = \frac{CPE_{ref}}{CPE}$$

Забележка:

- CPE е число, което намалява с увеличаване на енергийната ефективност, докато ИЕЕ е число, което в този случай се увеличава. Следователно енергийното управление трябва да е насочено към постигане на възможно най-нисък CPE и възможно най-висок ИЕЕ!
- Идентифицирането на реалната енергийна ефективност чрез индикатора може да постави изискване за корекция на енергийните фактори!

3. УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНОТО ПОТРЕБЛЕНИЕ

3.1. Принципи на енергийния мениджмънт

Ако рационалното използване на енергията е важна възможност за успешно развитие на нацията като цяло, то тя е жизнена необходимост за дадена отделна компания. Това предоставя реален шанс на един амбициозен ръководен екип да намали енергийния компонент от разходите за продуктите си.

Четири основни принципа са залегнали в основата на една добре организирана програма за рационално използване и управление на енергията:

Първият принцип е да се управляват разходите за енергийно потребление или за предоставена услуга, а не отделни MWh енергия (на парче).

В допълнение към разходите за енергия е полезно да се измерват още и разходите за амортизация, за поддръжка и труд и други оперативни разходи, включени в стойността на наличното производствено оборудване, необходимо за изпълнение на предоставяните услуги. Тези разходи съставляват около 50% от разходите за гориво. Например ако е възможно да се понижи температурата на даден топлинен процес, без да се нарушава технологията, заедно с намаляване на топлинните загуби би било възможно евентуално да се използват и други източници на топлина, а оттам и други, по-ефективни, енергопреобразуващи устройства. На свой ред те могат да изискват по-малко поддръжка и ремонт. По този начин, чрез управление на качеството на използваната топлина, се постига мултиплициращ (*синергиен*) ефект.

Вторият принцип на енергийния мениджмънт е да се контролират енергийните разходи като компонент от цената на продукта, а не като част от производството или общите разходи.

Учудващо е колко много компании все още смесват всички енергийни разходи в една обща или производствена режийна сметка, без да идентифицират продуктите или процесите с най-висок разход на енергия. В повечето случаи енергийните разходи трябва да станат част от стандартна система за определяне на общите разходи, така че всеки отделен разход на енергия да може да бъде оценен според специфичното му въздействие върху крайната цена на продукта.

Минималният теоретичен разход на енергия за производството на даден продукт може обикновено да се определи в процеса на работа и да се установят стандартни енергийни разходи за този продукт. Такъв минимален стандарт за конкретни енергийни разходи често трудно се приема, но той може да служи като индикатор за оценка на възможността за енергийни спестявания.

При сравняването на действителните стойности на енергийните разходи в дадено производство с минималните такива са възможни четири подхода, които могат да се прилагат за намаляване на разликата между тях, обикновено в следния ред:

1. Може да бъде инсталирана почасова или дневна система за контрол, за да поддържа енергийните разходи на желаното ниво.
2. Необходимите горива може да бъдат заменени с по-евтини и по-достъпни.
3. Може да се промени последователността на производствения процес, за да се икономиса енергия.
4. Може да се инсталира ново оборудване, за да се намалят разходите за енергия.

Изходна точка за намаляване на енергийните разходи трябва да бъде постигане на минималните възможни разходи при настоящото оборудване и процеси. Инсталирането на системи за контрол на управлението може да посочи какво е възможно най-малкото потребление на енергия в съществуващите

условия при добър контрол. Едва след това трябва да се мисли за промяна в производствения процес или за подмяна на оборудването! Смяната на оборудването преди реално минимизиране на разходите при съществуващите производствени условия може да доведе до прекалено голям обем ново оборудване или закупуване на излишно оборудване за ненужни функции.

Третият принцип е да се измерват и управляват не всички, а само главните енергийни потоци – емпиричният опит показва, че на около 20% от основните енергийни потоци се падат около 80% от всички енергийни разходи на предприятието (т.нар. *принцип на Парето*).

Не е икономически оправдан стремежът да се управляват всички енергийни потоци в дадено предприятие. Важно е контролът да се съсредоточи само върху разумните, основни енергийни разходи, а всички останали по-малки такива да се съберат в една обща група. Много заводи в САЩ например имат само един общ измервателен уред на входа, когато използват газ или електричество от външен източник. Независимо от разумността и оптимизацията на останалите стандартни разходи, невъзможността да се измерва действителното потребление по отделните енергийни потоци прави една такава система безполезна. Отделното измерване на главните енергийни потоци може да предостави информация не само за тяхната динамика, но и за контрол на разходите в кратък интервал от време. Цената на такива измервания обикновено се компенсира от потенциала за реализиране на значителни намаления на разходите в главните енергийни потоци на производствения цикъл.

Четвъртият принцип е да се вложат най-много усилия от програмата за управление на енергията в **установяването на контрол в постигането на резултати** (*постоянен мониторинг*).

Често се случва специалистите от персонала, които добре познават съответната използвана технология, да имат общи познания какви количества енергия могат да бъдат спестени в завода. Липсващата съставка е дисциплината, необходима за постигането на тези потенциални спестявания. Всяка стъпка в пътенето на енергия трябва да се контролира достатъчно често от управителя или от прекия ръководителя, за да се видят забележимите промени. Контролът върху разходите на най-важните използвани горива или наблюдения върху поведението на персонала са необходими почти винаги, преди да могат да се реализират някакви конкретни резултати от спестяванията. Следователно е много важно енергийният директор, главният енергетик или група специалисти да бъдат упълномощени от главния изпълнителен директор да упражняват контрол, а не само да съветват прякото ръководство. Такива енергийни мениджъри, които постигнат най-големи намаления на разходите, действително въвеждат системи и механизми за контрол, а не само дават добри съвети!

3.2. Компании за енергийни услуги (ЕСКО)

3.2.1. Роля на компаниите за енергийни услуги в повишаване на енергийната ефективност

Почти във всяка подобласт на енергийния сектор в България съществува значителен потенциал за подобряване на енергийната ефективност. Въпреки това реалните инвестиции за проекти за повишаване на енергийната ефективност, нови или за модернизация, са само малка част от идентифицираните възможности за инвестиции с икономически потенциал.

Основното ограничение, което затруднява тези инвестиции, е липсата на подходящи насоки и последователни процедури за изпълнителите, по които компаниите за енергийни услуги да определят в количествено отношение икономията на енергия, резултат от тези проекти. Протоколите за измерване и проверка (верификация) предоставят необходимата рамка за такива процедури и така задават методиките за определяне на икономии в резултат на проекти за повишаване на енергийната ефективност.

Такива протоколи ще доведат да по-последователни и надеждни оценки на икономии на енергия, което от своя страна ще повиши доверието на кредиторите. В тази връзка на разположение е **Международният протокол за измерване и удостоверяване на резултатите (IPMVP) [6]**, който независимо може да потвърди тези икономии. Това минимизира възможните рискове при изпълнението на проектите и по-специално разпределя рисковете за отговорните участници. Всички страни по даден проект трябва да адаптират този протокол към местните условия. Адаптираният протокол до голяма степен определя техниките за установяване на икономии за цялото съоръжение или за отделна използвана технология и обхваща търговски и промишлени обекти, насочвайки се към широката аудитория като компаниите за енергийни услуги (т. нар. **ЕСКО компании**), енергийни мениджъри, консултанти на проекти, финансови институции, правителствени агенции, крайни потребители и др.

Дадена ЕСКО компания трябва да е в състояние да осигури широка гама от енергийни услуги, когато клиентски институции (организации, които търсят доставчик на услуга за управление на енергията) се свържат с нея, като например:

- Извършване на предварително проучване и представяне на доклад, идентифициращ областите за последващо подробно проучване (**Due diligence**).
- Извършване на обстойно проучване и представяне на проектно предложение.
- Служи за спонсор на проекта и взаимодейства с финансови институции за устойчиво развитие (фондове, кредитни линии), като урежда финансова подкрепа за проекти за енергийна ефективност.
- Действа като доставчик на услуга/разработчик, който проектира и изпълнява проекти за енергийна ефективност с гарантиран резултат.

Не всички ЕСКО компании разполагат с опит във всички области, а само в някои от тях. Все пак някои от тях имат експертни умения за предоставяне на услуги за икономии и ефективно управление на енергията във всички области.

От гледна точка на IPMVP протокола даден изпълнител на енергийни услуги трябва да започне с изготвянето на подходящ план за измерване и крайна проверка (верификация). Планът може да използва различни подходи, като се съобразява с нормативните изисквания за използване на енергията. Протоколът предлага четири варианта за определяне на спестяванията (А, Б, В и Г). Изборът сред вариантите включва много съображения и за всеки конкретен проект е решение на ЕСКО компанията. Тези варианти се класифицират допълнително, както следва:

3.2.2. Метод на частични измервания („Retrofit Isolation”)

Вариант А – *Частично или еднократно измерване*

Икономии се удостоверяват чрез частични полеви измервания на място или непрекъснати измервания (с малка продължителност) на някои от по-важните параметри, свързани с мярката за спестяване на енергия, която е била приложена. Предполага се, че тези частични измервания ще отразяват достоверно действителната картина. Типични примери са подобрения в ефективността на двигателите, модернизация на осветление и др.

Вариант Б – *Краткосрочни измервания*

Икономии се определят чрез измерване на подсистемата, състоящата се от приложените мерки за спестяване на енергия, отделно от останалата част на системата. В периода след модернизацията се провеждат краткосрочни или непрекъснати измервания. Типичен представител е модернизация на дискове с променлива скорост.

3.2.3. Цялостен метод („Whole Facility”)

Вариант В – *Енергиен анализ на цялото съоръжение*

Енергиен анализ на цялото съоръжение се извършва чрез измервания за определяне на икономии от мерките за спестяване на енергия. Прави се непрекъснато наблюдение на общото енергийно потребление през последния период на модернизация. Потреблението на енергия се измерва с помощта на измервателни уреди по отделните енергийни потоци и по сметките за електроенергия. Базовата година за потреблението на енергия се определя от сметките за електроенергия.

Вариант Г – *Компютърни симулации*

Извършват се подробни компютърни симулации, за да се определят икономии на енергия на цялото съоръжение в резултат от мерките за спестяване на енергия. Обширните наблюдения на цялото съоръжение се заменят със симулации. Трябва да се направи точно калибриране на модела, за да се гарантира точността на симулираните резултати. Потреблението на енергия се измерва с помощта на измервателни уреди и сметки за електроенергия. Базовата година за потреблението на енергия се определя от калибрираните

симулации. За разлика от вариант В, този вариант позволява допълнително да се идентифицират икономии от всяка мярка за спестяване на енергия. Типичен случай е програма за енергийно управление с много задачи.

За разлика от други инструменти за управление, които са преходни (като анализ на стойността и кръгове по качеството), нуждата от управление на енергията ще бъде постоянна в рамките на нашето общество. Има няколко причини за това:

- Съществува пряка икономическа възвръщаемост. Повечето възможности, дефинирани в енергийното обследване, имат по-малко от две години срок на откупуване. Някои са незабавни, като преместване на натоварването или преминаване към нова тарифа за електричество.
- Повечето производствени компании търсят конкурентно предимство. Намалването на енергийните разходи за производство може да бъде незабавно и трайно. Освен това продукти, които използват енергия, напр. машини с моторно задвижване, се оценяват, за да се подобри енергийната им ефективност и, следователно, да се търсят повече на пазара. Много чужди страни, в които енергията е по-скъпа, сега искат да знаят каква е максималната мощност, необходима за експлоатацията на оборудването.
- Енергийните технологии се променят толкова бързо, че най-съвременните технологии имат реален живот от най-много десет години. Някой в организацията трябва да бъде в състояние постоянно да оценява и актуализира тази технология.
- Енергийната сигурност е част от енергийното управление. Без план за действие в извънредни ситуации при временен недостиг или прекъсвания, както и без стратегически дългосрочен план, организациите се излагат на опасност от големи проблеми без незабавни решения.
- В бъдеще ще се появят ценови шокове. Когато световните енергийни пазари се отклоняват само с пет процента спад в доставките, както направиха през 1979 г., разумно е да се очаква, че такива събития ще настъпят отново.

Следователно тези хора, които са избрани да управляват енергията, ще направят добре, ако вложат допълнително усилие да станат специалисти в тази нововъзникваща и динамична професия.

Целта на тази глава е да представи основните положения на програмата за енергийно управление, която е адаптирана към малки и средни организации. Разработването на работеща организационна структура може да бъде най-важното нещо, което може да направи енергийният мениджър.

4. Обследване за енергийна ефективност

4.1. Начало на одита

Обследването за енергийна ефективност, наречено за по-кратко **енергиен одит**, е една от първите задачи, които трябва да се извършат при реализирането на ефективна програма за управление на разходите за енергия. Един енергиен

одит се състои от подробен преглед как дадено съоръжение (или предприятие) използва необходимата за работата му енергия и колко се заплаща за тази енергия, като завършва с препоръчителна програма и конкретни енергоспестяващи мерки за промени в работните практики или енергоемкото оборудване, което ефективно ще спести пари от сметките за енергийни разходи.

Енергийният одит понякога се нарича и **енергиен анализ**, така че да не се обременява от негативното значение на думата „одит“ в смисъл на финансова (данъчна) проверка. Енергийният анализ носи положителен опит със значителни ползи за бизнеса или съответния субект, а терминът „одит“ трябва да се избягва, ако ясно създава негативна представа в съзнанието на определен бизнес субект.

Самите одити трябва да се предшества от **планиране**. То трябва да включва видовете одити, които трябва да се извършат, създаване на изпълнителен екип и времеви график. Чрез провеждането на специализирани одити, а не такива от общ характер, може да се спести доста повече енергия.

Примери за някои видове одити, които могат да се имат предвид, са тези, насочени към:

- Настройка – Експлоатация – Поддръжка на производствено оборудване
- Сгъстен въздух
- Двигатели
- Осветление
- Парна система
- Вода
- Контрол и управление на процесите
- Отопление, вентилация и климатизация
- Предложения от служители

Чрез определяне на индивидуалните задачи е по-лесно да се идентифицира правилният екип за извършване на одита. Не пренебрегвайте въвеждането на външни хора в екипа, например представители на доставчиците на електрическата енергия и други видове използвани гориво. Точният график за изпълнение на одитите може да допринесе за поддържане на програмата активна.

При договаряне процеса за изпълнение на одита енергийните мениджъри имат две възможности. Те могат или да минат през процеса на договаряне, като изберат изпълнителя и да определят работата му, или да създадат собствен екип и да проведат одита (ако имат лиценз за това), като в някои случаи за едно съоръжение може да се избере договаряне на изпълнението (ако отговаря на определени условия, например съоръжението влиза в т. нар. списък LEME, позволен от BEECIPF), а за друго - енергиен одит. Всяка възможност има предимства и недостатъци.

Достигането до изводи и формулирането на енергоспестяващи мерки (ЕСМ) чрез енергиен одит обикновено предшества създаването на **програма за енергийна ефективност**. Всъщност това е ключова стъпка, която определя сегашната ситуация и основата, върху която ще се градят подобренията на енергийната ефективност в бъдеще. Независимо от това енергиен одит може да

се извършва и на всеки отделен етап от програмния цикъл, за да се проверяват резултатите или да се открият и други възможности за подобряване на енергийната ефективност.

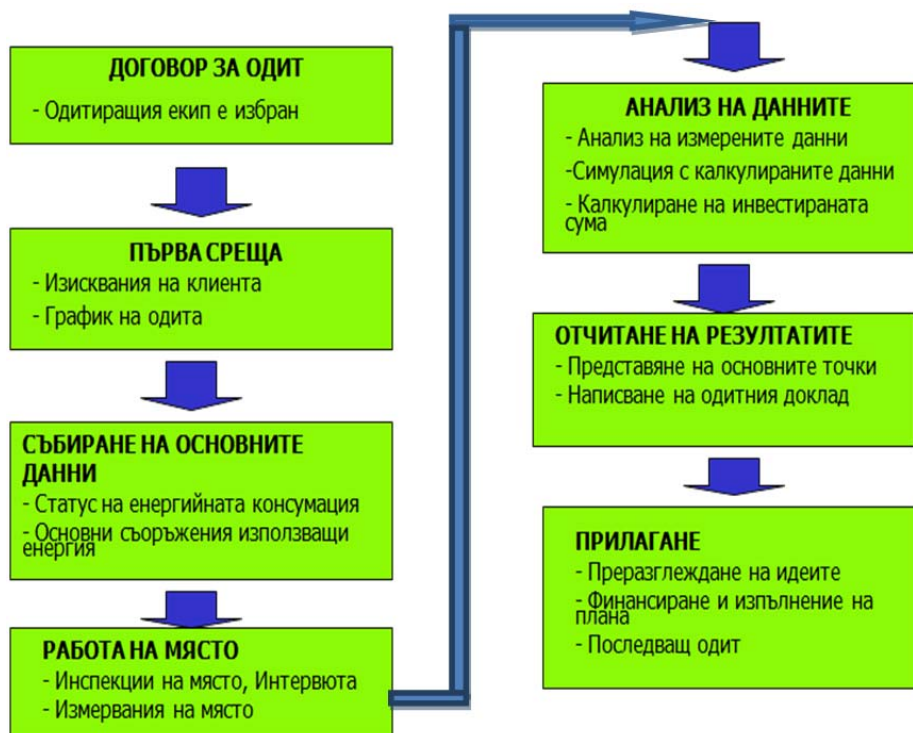
Както при всеки друг вид одит дейностите по енергийния одит може да се дефинират така – това е **систематичен и документиран процес на проверка на обективно получаване и оценяване на одиторски доказателства в съответствие с критериите на одита, последван от съобщаване на резултатите на клиента.**

Естествено, в общия енергиен одит фокусът и използваните техники са предназначени да се получи картина на енергийния баланс на съоръжението – *входни потоци, използвана енергия и загуби*. По-специализираните и подробни одити (*диагностични одити*) могат да се провеждат за проверка на заключенията от общия одит или да се получи подробен анализ на използването на енергия и загубите в конкретен процес или съоръжение.

Общият енергиен одит може условно да се раздели на **четири основни етапа**:

- Начало на одита
- Подготовка на одита
- Извършване на одита
- Отчитане на резултатите от одита

В началния етап се включва вземането на решение за провеждане на енергиен одит, определяне на целите и задачите на одита, избор на лицензирана одитираща фирма и осигуряване на средствата за провеждане на одита. Следващите стъпки могат да се представят нагледно в опростен вид на Фигура 4.1.



Фиг. 4.1. Основни етапи на енергиен одит.

Стъпките, показани на диаграмата, се прилагат при официален енергиен одит на голямо и сложно съоръжение. Приложимостта на схемата е една и съща, без значение дали фирмата извършва енергийния одит с вътрешни ресурси или е наел външен консултант. Структурата е проектирана като постепенен практически наръчник, който лесно може да се следва дори от тези, които преди това не са били подлагани на енергиен одит. За по-малки организации с ограничени ресурси опитният мениджър може да съкращава този одит и да го изменя, за да опрости процеса според конкретните обстоятелства.

Външните одитори, които работят в непозната обстановка, проучват работата с местен инженерен, производствен и поддържащ персонал, който е подробно запознат с обекта и използваната производствена технология. Те обикновено използват един от следните **два метода** при определяне приоритета на одитираните съоръжения:

а) Приоритет според консумацията на енергия. Този метод изглежда най-вероятен за прилагане към проблемните сектори, но не е подходящ за операции, при които няколко производствени сектора имат сходни профили на енергийно потребление или в които процесът на използване на енергия увеличава потреблението в определени области.

б) Приоритет според консумацията на енергия на единица площ. Този метод работи добре за операции, при които съоръжения с различни размери и видове консумират енергия със сходни темпове. Въпреки това той не прави разлика между пиковите периоди на използване на енергия и извънпиковите периоди и се отнася еднакво към операции с една, две и три смени.

4.2. Подготовка на одита

4.2.1. Събиране на изходни данни и информация

Процесът на енергийно обследване започва със събиране на изходна информация за експлоатацията на съоръжението и за миналите сметки за комунални услуги. След това тези данни се анализират, за да се добие представа за това как съоръжението използва (и вероятно хаби) енергия, както и да се помогне на одитора да установи кои сектори да изследва за намаляване на енергийните разходи. Идентифицират се и се прави технико-икономическа оценка на конкретни промени, наречени **енергоспестяващи мерки** (ЕСМ), за да се определят ползите от тях и рентабилността им. Тези ЕСМ се оценяват по отношение на техните разходи и ползи и се прави икономическо сравнение, за да бъдат класифицирани (*ранжирани*) по различни икономически показатели. След като някои от предложените ЕСМ са избрани за изпълнение от ръководството на фирмата, се създава план за действие и започва същинският процес на внедряване на тези мерки с цел пестене на енергия и средства.

Предварителното посещение на одитора на място за запознаване със съоръженията и производството на одитираната фирма, преди да се продължи с другите подготовки за одита, обслужва следните цели:

- установяват се лични контакти и линии за комуникация;

- очертава се по-ясна картина за съоръжението и целта;
- могат да бъдат изгладени неясни въпроси;
- ресурсите могат да бъдат идентифицирани и обезпечени;
- могат да бъдат направени корекции на планираните обхват, дата и продължителност на одита.

Одитираният обект е ценен източник за ревизия и усъвършенстване на одитната програма. Направените изводи могат значително да подобрят одитния процес и да подпомогнат получаването на по-качествени резултати. Въпросниците за предварителния одит (*контролни листове*) може да се прилагат по време на посещението за предварителен оглед. Това ще помогне да се сведе до минимум времето, прекарано на обекта при действителния енергиен одит, и да се увеличи производителността на одитора. Времето, прекарано на обекта, е скъпо и за одитора, и за одитирания обект.

Със съгласието на екипа на одитирания обект планирайте одита по време, когато:

- той е удобен за тяхната работа (например избягвайте да го планирате, когато персоналът отсъства поради курсове, ваканции, по време на закриване и основно ремонти, т.н.), и
- условията представят типичен оперативен режим и направените заключения могат спокойно да се екстраполират за цяла година.

Събирането на исторически данни е изключително важна фаза на енергийния одит. Надеждността на данните е от решаващо значение. Тя пряко засяга качеството на изчисленията и решенията, взети въз основа на получените резултати. Одиторите трябва да съберат данни от следните източници:

- сметки за комунални услуги;
- производствени записи;
- архитектурни и инженерни планове на завода и оборудването му;
- данни за околната среда/метеорологичните условия на обекта;
- локално генерирани данни на компанията за потреблението на енергия.

Одиторският екип ще изисква фактури за комунални услуги за всички енергийни източници – електроенергия, природен газ, мазут и вода, за най-малко 12 месеца (най-добре за последните три години), за предпочитане завършващи по време на одита. За да бъдат надеждни изходните стойности, от които в бъдеще ще се наблюдава потреблението на енергия, данните трябва да отразяват текущата работа на съоръжението.

Производствените записи трябва да предвиждат промените в данните, събирани от сметки за комунални услуги (например годишните спирания ще се проявят като намаляване на потреблението на енергия с продължителност една или две седмици). Плановите и чертежите запознават одиторите със съоръжението и им помагат да намерят критичното оборудване, използващо енергия.

Плановите са полезни и за:

- изчисляване площта на пода, стените и прозорците;

- идентифициране елементите на сградната обвивка като топлоизолация;
- локализация, маршрутизация и идентифициране на капацитета на строителните услуги;
- локализиране на измервателните уреди (настоящи и планирани).

Данните за параметрите на оборудването, достъпни от табелката с данни, са необходими за изчисляване потреблението на енергия от съоръжение, за което не са налични конкретни измерими данни. За да се изчисли енергията, консумирана от единица оборудване, от информацията на табелката с данни трябва да се определи правилният фактор на натоварване. Факторът на натоварване е частта от номиналната консумация на енергия при пълно натоварване, която оборудването действително използва.

Метеорологични данни (месечни или дневни, ден-градуси) са необходими, когато одитът разглежда системи, които се влияят от температурата на околната среда като отопление на сгради и охладително оборудване. Регистри, водени от обслужващи лица на сградата и процесите, са полезни за изясняване на причините за краткосрочни вариации на процесите, например на промени в консумацията на пара в различни производствени етапи или процеси.

След получаване на енергийния баланс на обекта одиторът може да види къде се консумира най-много енергия и може да идентифицира „тесните“ области за внимателно проучване по време на следващите фази на одита. При изготвяне на енергиен баланс следвайте енергийните потоци на завода, както и техните разклонения по отделни цехове и производства. Резултатите се илюстрират нагледно най-добре чрез кръгова диаграма или графика.

4.2.2. Инструменти на одитора

За да получи най-добрата информация за една успешна програма за управление на енергийните разходи, одиторът трябва да направи известни измервания по време на одитното посещение. Размерът на необходимото оборудване зависи от вида на енергоемкото оборудване, използвано в предприятието, и от обхвата на потенциалните възможности за енергоспестяване, които могат да се вземат под внимание. Например ако се обмисля използване на отпадна топлина, одиторът трябва да снее изходни данни чрез измерване на температурата на потенциалните топлинни източници.

По-долу са изброени инструментите, които най-често са необходими при енергийните одити.

Рулетка (метър). Най-основното необходимо измервателно устройство е рулетката. Рулетки с дължина 25 м и 100 м се използват за определяне на размерите на стени, тавани, прозорци и разстоянията между отделни части от оборудването за различни цели, например при определяне дължината на тръба за прехвърляне на отпадна топлина от една част на оборудването към друга.

Светломер. Един обикновен и полезен инструмент е светломерът, който се използва за измерване на нивата на осветеност в съоръженията. Светломерът позволява директен анализ на осветителните системи и сравнение с препоръчителните нива на осветеност. Най-полезен е малък светломер, който е

преносим и може да се побере в джоб. Много пространства в сгради и заводи все още са осветени значително над или под нормата и измерването на тази преосветеност позволява на одитора да препоръча оптимизиране на нивата на осветеност чрез програми за отстраняване на лампи или чрез замяна на неефективни с високоефективни лампи.

Термометри. Обикновено са необходими няколко термометъра за измерване на температурата в офисите и другите работни помещения и за измерване на температурата на оперативното оборудване. Познаването на температурите на процесите позволява на одитора да определи ефективността на оборудването, както и да идентифицира източниците на отпадна топлина за потенциални програми за оползотворяване на топлината. Нескъпите електронни термометри със сменяеми сонди сега са достъпни за измерване на температурите в тези две области. Някои често срещани видове включват сонда за потапяне, сонда за измерване температурата на повърхност и сонда с радиационен екран за измерване на истинската температура на въздуха.

Някои от основните измерителни прибори, необходими при енергийно обследване, са показани на фигури от 4.2 до 4.5 [7].



Фиг. 4.2. Инфрачервени термометри (радиационни пирометри) за дистанционно измерване на температурата на повърхност. Определят температурата на базата на енергията, излъчвана от тялото.

Налични са и други видове инфрачервени термометри и термографско оборудване. Инфрачервеният „пистолет“ (радиационен пирометър) е ценен за дистанционно измерване на температурата, например на паропроводи, които не се достигат лесно без стълба.



Фиг. 4.3. Инфрачервена камера за дистанционно наблюдение и измерване на температурата на повърхности. Прилага се за определяне на неравномерни температурни полета на повърхността на обекти (сгради, пещи, машини)

Волтметър. Един нескъп волтметър е полезен за определяне на работните напрежения на електрическо оборудване и е особено полезен, когато табелката на дадено оборудване е овехтяла и е нечетлива или липсва. Най-многофункционалният инструмент е комбиниран ампер-волт-омметър (*авометър*) с крайници тип „ампер клещи“ за измерване на ток в проводници, които са лесно достъпни. Този вид авометри е удобен и сравнително евтин.

Ватметър/измервател на фактора на мощността. Преносим ръчен ватметър и измервател на фактора на мощността е много удобен за определяне консумацията на енергия и фактора на мощността на отделните двигатели и други индуктивни устройства. Този измервателен уред обикновено има крайници тип „ампер клещи“, което позволява лесно свързване с проводник, пренасящ електричество, и има сонди за връзки с напрежението.

Газоанализатор. Газоанализаторите са портативни устройства, които оценяват горивната ефективност на пещи, котли или други машини, изгарящи ископаеми горива. Налични са два вида – дигитални (цифрови) анализатори и ръчен комплект инструменти за горивен анализ.

Цифровото оборудване за горивен анализ извършва измерванията и показва в процентно изражение горивната ефективност. Тези инструменти са доста сложни и скъпи.

Ръчният комплект инструменти за горивен анализ обикновено изисква многократни измервания, включително на изпускателната тръба (комин, ауспук), като температура, съдържание на кислород и на въглероден диоксид и др. Ефективността на процеса на горене може да бъде изчислена след определяне на тези параметри. Ръчният процес е дълъг и често е обект на човешка грешка.



Фиг. 4.4. Газов анализатор

Устройства за измерване на въздушния поток. Измерването на въздушния поток при отопление, климатични или вентилационни канали, както и от други източници на въздушния поток, е една от задачите на енергийния одитор. Устройствата за измерване на въздушния поток могат да се използват за идентифициране на определени проблеми, например дали е правилен горивният процес в газов нагревател. Типичните устройствата за измерване на въздушния поток включват скоростомери, чашкови и турбинни анемометри и др.



Фиг. 4.5. Скоростомерна тръба

Димен генератор. Един обикновен димен генератор също може да се използва в жилищни, офис и други сгради, за да се намери въздушна

инфилтрация и въздушни течове около врати, прозорци, тръби и други структурни характеристики. Трябва да се внимава при използването на това устройство, тъй като полученият химически „дим“ може да бъде опасен, а може да са необходими и защитни маски за дишане.

Оборудване за безопасност. Използването на оборудване за безопасност е жизнено важна предпазна мярка за всеки енергиен одитор. Използването на качествен чифт защитни очила е абсолютна необходимост за почти всяко одитно посещение. Може да се изискват и антифони при одитни посещения в шумни заводи или места с вентилатори и помпи, които се задвижват от мощни двигатели. Електроизолационни ръкавици трябва да се използват, ако ще се правят електрически измервания, а азбестови ръкавици – при работа с котли и печки. Дихателни предпазни маски са необходими, ако са налице опасни изпарения от използваните процеси и материали. Предпазни стоманени обувки могат да бъдат необходими при одити на заводи, където се използват тежки, горещи, остри или опасни материали.

4.3. Извършване на одита

Енергийният одитор трябва да започне със събиране на данни за изразходваната енергия, енергийните нужди и заплатените за енергия средства поне за предходните 12 месеца. За правилното разбиране на някои видове методи за таксуване могат да са необходими данни за 36 месеца назад. Сметките и фактурите за газ, нефт, въглища, електричество и т.н. енергоносители за съответния период трябва да бъдат събрани и проучени, за да се определи размерът на използваната енергия и нейната цена. След това тези данни трябва да бъдат представени в табличен и графичен ред, за да се изясни какъв вид закономерности или проблеми се виждат от тях. Всяка аномалия в нормалния ход на използване на енергията увеличава възможността за някои значителни икономии на енергия или намаляване на разходите чрез идентифициране и контролиране на това неправилно поведение. Понякога една аномалия в графиката или в таблицата отразява грешка в сметките, но като цяло отклонението показва, че се случват някои дейности, които не са били забелязани или не са напълно изяснени от страна на клиента.

4.3.1. Физически и оперативни данни за съоръжението

Одиторът трябва да събере информация за фактори, които биха могли да повлияят на използването на енергия в съоръжението. Географско положение, метеорологични данни, оформление и изграждане на съоръжението, работни часове на оборудването могат да повлияят върху използването на енергия

- **Географско положение/Метеорологични данни:** Трябва да се отбележи географското положение на предприятието заедно с метеорологичните данни за това местоположение. Обърнете се към местната метеорологична станция, местна институция или министерство, за да получите информация за средната продължителност на отоплителния период и периода на охлаждане за това местоположение за последните 12 месеца. Тези данни

(ден-градуси) ще бъдат много полезни при анализиране на нуждата от енергия за отопление или охлаждане на обекта. Метеорологичните данни биха били полезни и ако в рамките на одита се проведе компютърна симулация на термична изолация (саниране) на съоръжението.

- **Планове на съоръжението:** Следваща стъпка е да се получи скица или план на обекта и да се прегледа, за да се определи размера на съоръжението, подов план и строителни характеристики като стенни и покривни материали и изолационни нива, както и размери на вратите, прозорците и конструкционни особености. Набор от строителни или архитектурни планове може да предостави тази информация достатъчно подробно. Важно е да се уверите, че плановете отразяват действителните характеристики на съоръжението „както е построено“, тъй като някои първоначални строителни планове са изменени в процеса на строителство.
- **Работни часове:** Трябва да се информирате за работните часове на съоръжението. Само една смяна ли има или две, три? Предварителното познаване на работните часове позволява решения, като например дали някои големи натоварвания могат да бъдат изместени в извънпиковите часове. Добавянето на втора смяна често може да бъде рентабилно от гледна точка на разходите за енергия, тъй като потребителската такса може след това да се разпредели върху по-голямо количество потребена енергия (kWh).
- **Списък с оборудването:** Накрая одиторът следва да получи списък с оборудването на съоръжението и да го прегледа, преди да извърши одита. Всички големи детайли от оборудването, консумиращо енергия, като радиатори, климатици, нагреватели и специфично оборудване, свързано с процесите, трябва да бъде идентифицирано. Този списък, заедно с данни за оперативното използване на оборудването, позволява добро разбиране на основните процеси с консумация на енергия и за работата на оборудването на обекта. Като общо правило първо следва да бъдат разгледани най-големите енергийни и разходни дейности, за да се види какви спестявания могат да бъдат постигнати. Най-голямо внимание трябва да бъде обърнато на ЕСМ, които показват най-големи икономии, а най-малко внимание да се обърща на тези с най-малък потенциал за икономии.

Обема на одитираното оборудване ще зависи в голяма степен от вида на конкретния обект. Жилищните одити на еднофамилни жилища обикновено включват по-малки по мащаб системи за осветление, отопление, климатизация и охлаждане. Търговски обекти, например магазин за хранителни стоки, офис сгради и търговски центрове, обикновено имат оборудване, подобно на жилищното, но много по-голямо като размер и потребление на енергия. Въпреки това големите жилищни структури като жилищни сгради имат отопление, климатизация и осветление, които са доста подобни на много търговски обекти. Бизнес дейностите са област, при която в енергийните одити започва да се

включва все по-често оборудване, което е значително по-различно от онова, намиращо се в жилищата.

Индустриалните одитори се занимават с най-сложното оборудване. Обикновено в повечето промишлени обекти обикновено се използва осветление, отопление, климатизация и охлаждане, както и бизнес оборудване в офисите от промишлен мащаб. Основната разлика е във високоспециализираното оборудване, използвано при промишлените производствени процеси. То може да включва например оборудване за химическо смесване, метална обшивка и обработка, заваряване, леене на пластмаса под налягане, производство на хартия и печатане, рафиниране на метали, сглобяване на електроника и производство на стъкло.

4.3.2. Работно посещение на място

След като е получена информацията за сметките за енергия, оборудването и експлоатацията на съоръжението, може да бъде събрано измервателното оборудване, необходимо за одита, и може да се направи действително посещение на съоръжението.

- **Встъпителна среща:** Лицето или екипът, отговарящ за одита, трябва да се срещне с мениджъра на обекта и с ръководителя по поддръжката, накратко да обсъдят целите на одита и да уточнят вида на информацията, която трябва да се получи по време на посещението на съоръжението. Ако е възможно на тази първа среща трябва да присъства и ръководител, който е в състояние да разреши разходите или да вземе текущи решения във връзка със съоръжението.
- **Интервюта по време на одита:** Получаването на точна информация за оборудването и експлоатацията на съоръжението е важно, за да бъде одитът успешен в идентифицирането на ЕСМ за спестяване на пари от сметките за енергия. Фирмената философия по отношение на инвестициите, стимулът да се подаде молбата за одит и очакванията от одита могат да бъдат определени чрез интервюиране на генералния мениджър, главния оперативен директор или други ръководители. Мениджърът на съоръжението или на завода е човек, който трябва да има достъп до голяма част от оперативните данни за обекта и архива с данни за оборудването на съоръжението. Финансовият мениджър може да осигури всички необходими финансови отчети (например сметки за комунални разходи за електричество, газ, нефт, други горива, питейни и отпадъчни води, разходи за поддръжка и ремонт и т.н.). Одиторът трябва да интервюира и надзорните органи на етажа и операторите на оборудването, за да разбере проблемите на сградата и процесите. Преките или цехови отговорници (бригадири, оператори) обикновено разполагат с най-вярната информация за времето, когато се използва тяхното оборудване. Енергетикът и механикът по поддръжката често са основните лица, с които се разговаря относно вида на осветлението и лампите, размери на двигателите, климатиците, радиаторите и електрическите товари на

специализираното технологично оборудване. Накрая трябва да бъде интервюиран персоналът по поддръжката, за да се намерят проблемите с оборудването и производителността. Одиторът трябва да запише имената на тези хора, техните длъжности и телефонни номера, тъй като често се налага да се получи допълнителна информация след първоначалното одитно посещение.

- **Обиколка:** Обиколката на съоръжението или завода трябва да се извърши от мениджъра на обекта/завода и трябва да се подреди така, че одиторът или одитният екип да видят най-големите оперативни разходи и характеристиките на оборудването на обекта. Основната цел на обиколката е да се получи обща изходна информация. По-специфичната информация трябва да се получи от хората по поддръжката и експлоатацията след обиколката.
- **Получаване на подробни данни:** След обиколката на съоръжението или завода, одиторът или одитният екип трябва да се сдобият с подробни данни за оборудването и експлоатацията на съоръжението, което ще доведе до идентифициране на потенциалните възможности за енергоспестяване, които могат да бъдат подходящи за това съоръжение. Това включва данни за осветление, оборудване за отопление, вентилация и климатизация, двигатели, подгръване на водата и специализирано оборудване като хладилници, фурни, миксери, котли, бойлери и др. Тези данни най-лесно се записват на индивидуализирани информационни листове, които са били подготвени предварително.
- **Какво да търсите:**
 - **Осветление:** Осъществяването на подробен опис на цялото осветление е важно. Данните трябва да бъдат записани с цифри за всеки вид осветителни тела и лампи, мощност на лампата и часове на работа на групите светлини. Трябва да се използва информационен лист с опис на осветлението, за да се записват тези данни. С помощта на светломер одиторът следва да измери действителните показания за интензитета на светлината за всяка зона. Воденето на записки върху вида на задачите, извършвани във всяка работна зона, ще помогне на одитора да избере алтернативни технологии за осветление, които биха могли да бъдат по-енергоефективни. Други въпроси за отбелязване са районите, които могат да бъдат рядко осветявани и могат да бъдат кандидати за сензорен контрол на осветлението или области, където е възможно да има дневна светлина.
 - **Оборудване за отопление, вентилация и климатизация:** Цялото оборудване за отопление, климатизация и вентилация трябва да се опише. Могат да бъдат използвани готови информационни листове, за да се впишат вида, размера, номера, моделите, възрастта, електрическите спецификации или спецификациите за употреба на гориво и очакваните часове на работа. Оборудването трябва да бъде

проверено, за да се определи състоянието на изпарителя и кондензните съоръжения, въздушните филтри и изолацията на хладилните линии. Може също да се направи измерване на скоростта на въздуха и да се запише, за да се оцени операционната ефективност или да се намерят утечки на климатизиран въздух. Тези данни ще позволят по-късен анализ, за да се разгледат алтернативно оборудване и операции, които ще намалят енергийните разходи за отопление, вентилация и климатизация.

- Електродвигатели: Трябва да се направи инвентаризация на всички електрически двигатели с мощност над 1 kW. Готови информационни листове могат да бъдат използвани за отчитане на размера на двигателя, употреба, възраст, номер, модел, разчетни часове на работа, други електрически характеристики и евентуално на фактора на мощността. Измерването на напрежение, ток и фактори на мощността може да бъде подходящо за някои двигатели. Трябва да се направят бележки за използването на двигателите, особено за тези, които се използват рядко и могат да бъдат обекти за контрол при върхово натоварване или преместване на тяхното използване в извънпиковите часове. Всички двигатели над 1 kW и с време на ползване над 2000 часа на година са подходящи кандидати за замяна с високоефективни двигатели, най-малкото когато те се развалят и трябва да бъдат сменени.
- Котли и бойлери: Всички котли и бойлери за топла вода трябва да бъдат прегледани и да се запишат данните за техните вид, размер, възраст, номер на модела, енергийни характеристики и използване на горивото. Трябва да се отбележи за какво се използва горещата вода, какво количество се използва и по кое време се използва. Трябва да се измери температурата на горещата вода.
- Източници на отпадъчна топлина: Повечето съоръжения имат много източници на отпадъчна топлина и осигуряват възможности за повторно използване на тази топлина като основен или общ източник на необходимата гореща вода. Източници на отпадъчна топлина са климатици, въздушни компресори, нагреватели и котли, системи за охлаждане, фурни, пещи, печки и много други. Измерването на температурата на тези източници на отпадъчна топлина е необходимо, за да се анализират възможностите им за евентуална замяна на съществуващите бойлери.
- Върхови натоварвания на оборудването: Одиторът трябва специално да търси всяка част от електрическото оборудване, която се използва рядко или чието използване може да бъде контролирано и прехвърляно към извънпикови часове. Примерите за рядко използвано оборудване включват валяци за боклук, тестови двигатели с вътрешно горене, някои видове оксигени, сушилни или какъвто и да е вид резервни машини. Някои производствени машини биха могли да се планират за

извънпиковите часове. Подгръването на водата може да се извърши в извънпиковите часове, ако е налична система за съхранение (топлинни акумулатори) и извънпиково акумулираната топлина може да се използва при пиково отопление и охлаждане на сгради. Измерването на електрическото напрежение, ток и мощност може да бъде полезно. Всяка информация, която води до част от оборудването, използвана в извънпиковите часове, е ценна и може да доведе до значителни спестявания от сметките за електричество. Одиторът следва да бъде особено бдителен за тези редки извънпикови употреби, които могат да подпомогнат обясняването на аномалиите в сметките за електричество.

- **Друго енергоемко оборудване:** Накрая трябва да се направи опис на всяко друго оборудване, което консумира значително количество енергия. Търговските обекти могат да имат богато компютърно оборудване и копирна техника, хладилно оборудване, устройства за готвене, печатащи устройства, бойлери и др. Промислените съоръжения ще имат много високоспециализирани обработващи и производствени машини. За всяко оборудване трябва да се запишат данните за вид, размер, капацитет, използване на гориво, електрически характеристики, възраст и работни часове.
- **Предварително идентифициране на възможности за енергоспестяване:** При провеждането на одита одиторът трябва да си отбелязва потенциалните възможности за енергоспестяване, които са очевидни. Идентифицирането на възможностите за енергоспестяване изисква добро познаване на наличните технологии за енергийна ефективност, които могат да свършат същата работа с по-малко енергия и по-малко разходи. Например свръхосветеността сочи потенциално отстраняване на лампи или промяна на режима на работа, а неефективните лампи показват потенциална промяна на технологиите при лампите. Двигатели с високо енергопотребление са потенциални възможности за енергоспестяване при замяна с такива с висока ефективност. Бележките за източниците на отпадна топлина трябва да посочат какви други топлинни източници те биха могли да заместят и колко са отдалечени от местоположението на крайния потребител. Идентифицирането на потенциалните възможности за енергоспестяване по време на обиколката ще улесни по-късното анализиране на данните и определянето на окончателните препоръки.

4.3.3. Следодиторски анализ

След одитното посещение на обекта събраните данни следва да бъдат разгледани, систематизирани и прегледани за достатъчност и завършеност. Всички липсващи данни трябва да бъдат получени от персонала на обекта или от повторно посещение на обекта. Предварителните възможности за енергоспестяване, идентифицирани по време на одитното посещение, сега трябва да бъдат проверени и да се направи подробен анализ на оборудването и

предвижданите функционални промени. Това включва определяне на разходите и ползите от потенциалните ЕСМ и преценяване на ефективността на разходите за тях. Ефективността на разходите включва преценка, която се разглежда по различен начин от различните хора и компании. Често **простият срок на откупуване** (PCO) се използва за измерване на ефективността на разходите и повечето съоръжения имат PCO до две години. PCO за ЕСМ се установява, като първоначалната цена на придобиване се раздели на годишните икономии от внедрените ЕСМ. Това води до намиране на определен период от време, за който от спестяванията ще се изплати първоначалната инвестиция, без да се взема предвид изменението на стойността на парите във времето.

Друга обща мярка за ефективност на разходите е **дисконтираното съотношение разходи - ползи**. При този метод годишните икономии се дисконтират, когато се появят през следващите години и се сумират, за да се намери сегашната стойност на годишните спестявания за определен период от време. След това съотношението разходи-ползи се пресмята, като се раздели сегашната стойност на спестяванията на първоначалните разходи. Резултат, по-голям от единица означава, че инвестицията ще се изплати, дори когато са взети под внимание дисконтираните бъдещи икономии.

Ще илюстрираме възможности за енергоспестяване с няколко примера, за да се илюстрира връзката между получената при одита информация и препоръчаните промени (технологични и оперативни) за спестяване от сметките за енергия.

- **Възможности за енергоспестяване в осветлението:** Първо се избира подходяща технология, напр. подмяна на съществуваща живачна лампа от 400 вата с метал-халогенна лампа от 325 вата. Да се определи цената на заменената лампа.

Пример: Могат да се използват продуктови каталози, за да се определи типичната цена за новата лампа - например тя е с около 5 евро повече от цената на живачната лампа от 400 вата. Новата лампа се заменя директно чрез завинтване и не е необходима промяна в баластното устройство. Разходите за труд се очаква да бъдат еднакви при инсталирането на която и да било лампа. След това трябва да се изчислят ползите (или икономии):

Икономията на енергия е $400 - 325 = 75$ вата.

Ако лампата работи в продължение на 4000 часа годишно и електрическата енергия струва 0.043 евро/кВч, икономията от заменат ще е:

$$(0.075 \text{ kW}) \times (4000 \text{ часа/годишно}) \times (0.043 \text{ евро/кВч}) = 12.99 \text{ евро/годишно}$$
$$\text{PCO} = 5 \text{ евро} / 12.99 \text{ евро/годишно} = 0.4 \text{ години, или около 5 месеца.}$$

Това се счита за изключително ефективна възможност за енергоспестяване. (За целите на примера е изключена баластната мощност.)

- **Възможност за енергоспестяване при двигателите:** Вентилатор в производствена компания за производство на лодки от фибростъкло има двигател със стандартна ефективност 5 kW, който работи при пълно

натоварване две смени дневно или 4160 часа годишно. Когато този двигател се износи, компанията ще има възможност за енергоспестяване от закупуването на двигател с по-висока ефективност.

Пример: Високоэффективният двигател от 5 кВт струва с около 60 евро повече от двигател със стандартна ефективност, подобен на стария.

Стандартният двигател е с к.п.д. 83%, а високоэффективният модел е с 88.5%. Икономииите се виждат от следното изчисление:

$$(5 \text{ кВт}) \times (4160 \text{ часа/ год.}) \times [(1/0.83) - (1/0.885)] \times (0.043 \text{ евро/кВтч}) = 67.46 \text{ евро/годишно}$$

Разликата в цените между двата двигателя се изкупува от икономииите, т.е. ПСО е = 60 евро/67.46 евро/годишно = 0.9 години или около 11 месеца. Това също е много привлекателна възможност за енергоспестяване, когато се оценява с тази икономическа мярка.

Дисконтираното съотношение разходи-ползи може да се намери, когато се определи животът на двигателя и се избере сконтов процент. Компаниите имат корпоративен стандарт за сконтовия процент, използван за определяне на техните мерки при взимането на инвестиционни решения.

4.3.4. Заключение и препоръки

На този етап на одита изборът на възможности за енергоспестяване може да се потвърди и финализира с правилна оценка на разходите и ползите. Изводите и препоръките от одита вече могат да бъдат потвърдени и може да се изготви окончателният доклад. Съдържанието на доклада трябва да се представи и да се съгласува с представителя на одитирания обект.

4.4. Одиторски доклад

Следващата стъпка в процеса на енергийния одит е да се подготви доклад, който уточнява крайните резултати и препоръки. Дължината и подробността на този доклад варира в зависимост от вида и сложността на одитирания обект.

Жилищният одит може да се сведе до компютърна разпечатка от съответната одиторска фирма. Промисленият одит е по-вероятно да има подробно обяснение на възможностите за енергоспестяване и анализи на разходи-ползи.

Ще обсъдим само промишлените одитни доклади. Докладът трябва да започне с кратко резюме, което предоставя на собствениците/управителите на одитирания обект кратък обзор на общите спестявания и акцентите на всяка ЕСМ. В него трябва да опише одитираното съоръжение и да се предостави информация по отношение на експлоатацията на съоръжението, която се отнася до енергийните му разходи. Трябва да бъдат представени сметките за енергийните разходи, нагледно илюстрирани с таблиците и скиците, показващи разходите и потреблението.

След анализа на разходите за енергия трябва да бъдат представени препоръчаните възможности за енергоспестяване заедно с изчисленията за разходите и ползите и критерия за ефективност на разходите. Независимо кои са

читателите на одиторския доклад, той трябва да бъде написан в ясен, кратък и лесно разбираем формат и стил. Резюмето трябва да бъде съобразено с нетехническият персонал, а техническият жаргон трябва да бъде сведен до минимум. Клиент, който разбира доклада, е по-вероятно да приложи препоръчаните възможности за енергоспестяване. По-долу е показано кратко описание на пълен доклад за енергиен одит.

4.4.1. Примерен формат на подробен доклад за енергиен одит

Ориентировъчна опростена структура на енергиен одит и съдържание:

1. Резюме - кратко описание на препоръките и спестяванията
2. Съдържание
3. Въведение
4. Цел на енергийния одит
5. Необходимост от постоянна програма за управление на енергийните разходи
6. Описание на съоръжението
7. Произвеждани продукти или услуга, материални и енергийни потоци
8. Размер, конструкция, план на съоръжението и работни часове
9. Списък на оборудването със спецификации
10. Анализ на сметките за енергия
11. Структура на тарифите на предприятието за произведените стоки и услуги
12. Таблици и графики на консумацията на енергия и разходите
13. Обсъждане на енергийните разходи и сметките за енергия
14. Идентифициране на възможностите за енергоспестяване – енергоспестяващи мерки (ЕСМ)
15. Списък на други потенциални възможности за енергоспестяване
16. Анализ на разходите и спестяванията
17. Икономическа оценка
18. Оценка на намаляване на общите емисии на парникови газове в резултат от изпълнението на възможните ЕСМ и оценка на възможностите за финансови операции с въглеродни кредити съгласно приложимия режим за търговия с емисии като Схемата за търговия с емисии на ЕС или Съвместно изпълнение, отговарящо между другото за:
 - директни (от процеси за изгаряне на гориво) и индиректни (от намалено енергопотребление) емисии,
 - свързани с горивата и процесите и
 - свързани с изкопаемите и неизкопаемите горива
19. План за внедряване на приетите ЕСМ
20. График за изпълнение на планираните ЕСМ
21. Предназначение на енергийната контролна и текуща програма
22. Заключение
23. Допълнителни коментари и приложения

4.4.2. Примерен формат на опростен доклад за енергиен одит

1. Енергиен баланс на производствените операции (цялостна картина за всички входящи и изходящи енергийни потоци на първични горива и междинни енергийни носители)
2. Подробен анализ на потреблението на енергия и идентифициране на проблема
3. Преглед на договореностите за доставка на енергия
4. Оценка на очакваната спестена и/или произведена чрез инвестицията енергия
5. Оценка на намаляване на общите емисии на парникови газове в резултат от изпълнението на предписаните ЕСМ
6. Оценка на съответствието с националните стандарти за околна среда, здраве и безопасност (*текущо състояние и препоръки за разрешаване на области на несъответствие*)
7. Текуща политика за управление на енергията, мерки и персонал
8. План за изпълнение на проекта, включително оценка на разрешителните, необходими за изграждането и експлоатацията на включените инвестиции
9. Анализ на алтернативни възможности за доставка на енергия (вкл. собствен потенциал за когенерация и възобновяеми енергийни източници)
10. Идентифициране на допълнителни осъществими възможности за устойчива енергия

Пример: Ориентировъчно съдържание на опростен енергиен одит по BEECIFF:

0. Резюме
 - 0.1 Заключение относно допустимостта на проекта
 - 0.2 Фирмен профил
 - 0.3 Планиран инвестиционен проект
 - 0.4 Текущо потребление на енергия (в MWh)
 - 0.5 Спестяване на енергия и намаляване на CO₂ емисии
 - 0.6 Финансови разходи и ползи
 - 0.7 Оценка на риска
 - 0.8 Допълнителен потенциал за пестене на енергия
1. Въведение
 - 1.1 История
 - 1.2 Одитирана компания и одитиращ екип
2. Фирмен профил
 - 2.1 Пазарна позиция
 - 2.2 Производствени и енергийни данни
3. Технически преглед и енергиен баланс
 - 3.1 Описание на производствения процес и основната дейност
 - 3.2 Състояние на системите за енергопотребление
 - 3.3 Енергиен баланс на процеса, засегнат от ЕСМ
 - 3.3.1 Енергийни нужди
 - 3.3.2 Енергийни доставки

- 3.4 Енергийни разходи и интензитет
 - 4. Проект, предложен от компанията
 - 4.1 Проект 1:
 - 4.2 Проект 2:
 - 4.3 Резюме на спестяванията и инвестиционните разходи
 - 4.4 План за изпълнение
 - 4.5 План за мониторинг
 - 5. Оценка за съответствие с регламенти и стандарти за околна среда, здраве и безопасност
 - 6. Анализ на рентабилността на проекта
 - 6.1 Инвестиционни разходи за проекта
 - 6.2 Разходи за експлоатация и поддръжка
 - 6.3 Анализ на паричните потоци
 - 7. Оценка на риска
 - 8. Препоръки към компанията
 - 8.1 Преглед на възможните допълнителни ЕСМ
 - 8.2 Оценка на разходите и ползите от предложените ЕСМ
 - 8.3 Допълнителни ползи от проектите
 - 9. Оценка на допустимостта по BEECIFF
 - 9.1 Оценка за допустимост
- Списък на фигурите
Списък на таблиците
Списък с приложенията

4.5. Дейности след одита. Прилагане на мерки за енергийна ефективност

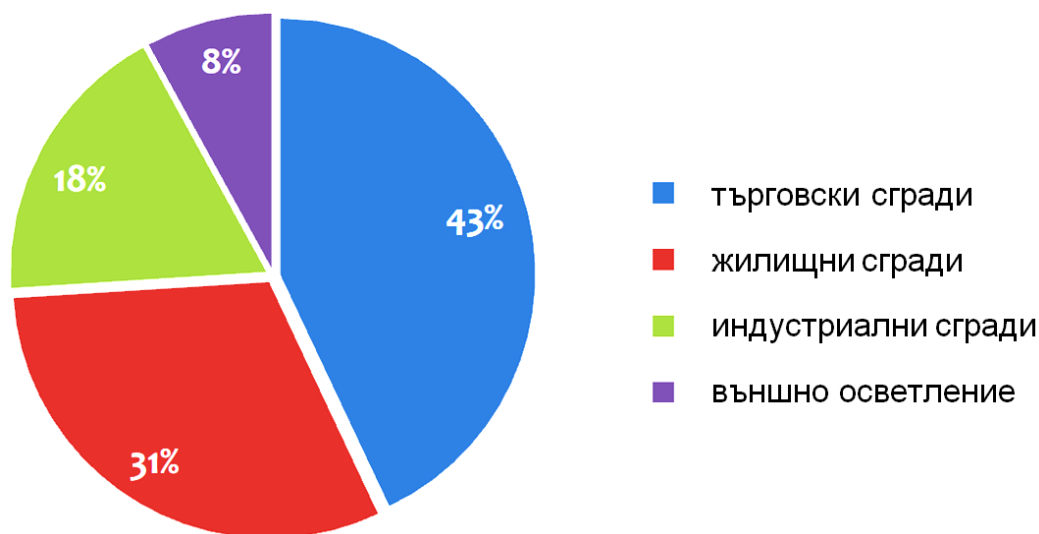
Разработените енергоспестяващи мерки трябва да бъдат допълнително оценени, проверени за осъществимост и икономии на енергия да бъдат определени количествено. За всяка мярка, за която може да бъде потвърдено положителното въздействие по отношение на производствения процес като цяло и намаляване на консумацията на енергия в частност, трябва да се извършат финансови анализи (например за вътрешна норма на възвръщаемост, нетна настояща стойност и период на изплащане). В резултат на това трябва да се подготви доклад, който да описва завода, процеса и одитираните съоръжения, потенциала за спестяване на енергия, предложените мерки, резултатите от финансовите анализи и препоръки.

Сроковете за изготвяне на енергиен одит могат да варират от няколко седмици до няколко месеца в зависимост от специфичните задачи на енергийния одит, финансовите възможности и изискванията на клиента.

5. Осветителни уредби

5.1. Въведение

Тъй като почти всички сгради имат осветление, често се срещат възможности за модернизация на осветлението и обикновено има ефективна възвръщаемост на инвестициите. Електроенергията, използвана от осветителните уредби, представлява значителен дял от общата електроенергия, консумирана в света - приблизително 20% от световната употреба на електричество. Общата енергия, използвана за осветление, на свой ред се разделя според диаграмата по-долу (виж фиг. 5.1).



Фиг. 5.1. Световно разпределение на енергията за осветление

Производителите на светлинни източници и осветителни тела имат много нови разработки, чрез които се намалява консумацията на електрическа енергия. Много индустрии са модернизирани своите осветителни системи, а производителите на осветителна техника са въвели по-ефективни продукти на пазара. Въпреки това системите за осветление в повечето обекти все още предоставят значителни възможности за намаляване разходите за електричество.

Използването на електрическо осветление е силно зависимо от дневната светлина (естественото осветление). Ефективното използване на дневната светлина, например големи прозорци с най-подходящото изложение, заедно с разумно използване на цветовете на стените и таваните, ще намали значително консумацията на електрическа енергия за осветление.

Първата стъпка за намаляване разходите за електроенергия, свързани с осветление, е да се проучи съоръжението, за да се разбере дали осветителната техника във всяка зона е подходяща за работата, извършвана там, и дали е от най-енергийноефективния вид, достъпен за изпълнение на задачата.

Основна цел на управлението на енергията е да се намалят енергийните разходи. Проучванията в областта на осветлението често разкриват една или повече от следните възможности за управление на енергията:

- **Осветление, останало да работи в незаети помещения:** Дори най-ефективните осветителни тела разхищават енергия, когато са оставени да работят ненужно. Най-добрият начин да се гарантира, че осветлението е изключено, когато не е необходимо да работи, е да се развие чувството за отговорност на персонала, така че той да се погрижи за изключване на ненужните осветители. Бихте могли да разгледате и възможността за инсталиране на таймери, фотоклетки и сензори, или да интегрирате системата за осветление в контролна система за управление на енергията. Осветлението и другото електрическо обзавеждане (например помпи, вентилатори), оставени ненужно в хладилни зони, добавят значителен товар към хладилното натоварване. Същото важи и за климатичните системи.
- **Замърсени лампи, разсейватели и отражатели в осветителните тела:** Натрупвания от прах и мазнина върху осветителните тела могат да намалят светлината, която достига до осветяваната зона, с около 30%. Осветителните тела трябва да се почистват поне веднъж на всеки две години и дори по-често, когато са инсталирани в мазни, прашни и задимени места и когато са част от система за отопление, вентилация и климатизация.
- **Преосветени помещения:** В зони с по-голямо осветление от това, което изискват дейностите там, премахнете или изключете част от осветлението. Изискванията за осветеност варират в широки граници в рамките на една сграда и намаляването на осветлението в общата площ в комбинация с увеличаване на осветлението на работните повърхности често увеличава комфорта на обитателите, като в същото време намалява разходите за електричество. Осветителите с луминесцентни и други газоразрядни лампи консумират енергия в баластните си съпротивления, дори когато лампата е отстранена. Затова трябва да се прекъсва електрическото захранване към такива осветители. Системи с частично осветление са полезни за зони, в които се провеждат няколко вида дейности. Например производствените области в завода могат да бъдат напълно осветени по време на производствените периоди, а да бъдат частично осветени, когато се извършва работа само по почистване и охрана.
- **Остаряло осветително обзавеждане:** Актуализирането на системата за осветление с по-енергийноефективно обзавеждане обикновено е икономически ефективно. Реконструкцията трябва да се разглежда като подобряване на цялостната енергийна ефективност на съоръжението, а и като привеждане на системата за осветление в съответствие с изискванията за енергийна ефективност.

Помислете за увеличаване използването на дневна светлина, където е възможно. Намаляване използването на енергия за осветление понижава не само разходите за електроенергия, но и натоварването на климатичната система. Мерките, предприети за намаляване потреблението на електроенергия чрез

осветителни системи, спомагат за намаляване на вредните емисии от топлоелектрическите централи.

5.2. Описание на възможностите за икономии

Обикновено основният параметър при работа с енергийна ефективност е времето на работа, тъй като това често е параметърът, който има най-голямо въздействие върху общото използване на енергия. Една от положителните страни е, че оперативното време често е лесно да бъде намалено, което се отнася и по отношение на осветлението. Световният потенциал за намаляване използването на енергия чрез намаляване на работното време е съизмерим с този от замяна на светлинните източници.

В публикация на Международната енергийна агенция (IEA) от 2008 е пресметнато, че чрез увеличаване използването на ефективни източници на осветление поне 38% от световната енергия за осветление може да бъде спестена чрез икономически ефективни действия (*Препоръка на политиката за енергийна ефективност, IEA, 2008*). Причината за това е, че за голяма част от осветлението в световен мащаб все още се използват традиционните лампи с нажежаема жичка.

5.2.1. Ефикасност (светлинен добив)

Подобно на ефективността, ефикасността представлява съотношение изход/вход - колкото е по-голяма енергията на изхода (докато входът е постоянна величина), толкова по-голяма е ефикасността. Ефикасността на светлинните източници се оценява с техният **светлинен добив** (лумен на ват). Едно често срещано погрешно схващане в терминологията на осветлението е, че лампи с по-голяма мощност осигуряват повече светлина. Въпреки това източници на светлина с висока ефективност могат да осигурят повече светлина с една и съща мощност (ватове) в сравнение с източници на светлина с ниска ефективност.

Едни от най-широко използваните индустриални стандарти за осветление са тези, разработени от *Illuminating Engineering Society of North America* (IES). Стандартът на *The American National Standards Institute's* (ANSI) „Практика за промишлено осветление” е приет от IES. Наскоро е доказано, че комфортът на обитателите намалява, когато в помещението има твърде много светлина. Многобройни експерименти са потвърдили, че някои от нивата на осветеност на IES са прекомерни и продуктивността на работещите намалява поради лош зрителен (визуален) комфорт. Поради тези констатации IES е намалил препоръчителните нива на осветеност за много случаи. Проектантът по осветлението трябва да избягва преосветяване на пространството. За съжаление тази цел може да бъде трудно осъществима, защото преосветените пространства са се превърнали в „норма” в много сгради. Въпреки, че не е оптимално, традицията на прекомерното осветяване може да бъде продължена по навик. За да се коригира тази тенденция, първата стъпка за модернизация на осветлението трябва да бъде разглеждане на съществуващата система и да се определи дали е преосветена.

5.2.2. Компоненти на системите за осветление

След определяне на количеството и качеството на осветление, които се изискват за определена задача, повечето проектанти по осветлението посочват лампата, след това пускорегулиращата апаратура (баласта) и накрая осветителното тяло, за да отговорят на нуждите за осветление.

• Светлинни източници (Лампи)

Лампата е първият компонент, който трябва да се разгледа в процеса на проектиране на осветлението. Изборът на лампа определя количеството светлина, времето, след което лампите трябва да бъдат подменени, оперативните разходи и т.н. на системата за осветление. В този раздел са показани само най-известните видове лампи.

Традиционната лампа с нажежаема жичка преобразува само около 5% от доставената електрическа енергия във видима светлина, останалата част се излъчва като топлина. Това е неефективен начин за използване на електрическа енергия, въпреки че излъчваната топлина може да бъде полезна в някои редки случаи. По-често сградите трябва да инсталират допълнителна система за охлаждане, за да поддържат температурата и светлината на едно постоянно ниво. Днес има много алтернативни източници на осветление, от които най-често използваните са включени в Таблица 5.1.

Таблица 5.1. Характеристики на лампите

Wattages (lamp only)	Incandescent Including Tungsten Halogen	Fluorescent	Compact Fluorescent	Mercury Vapor (Self-ballasted)	Metal Halide	High-Pressure Sodium (Improved Color)	Low-Pressure Sodium
	15-1500	15-219	4-40	40-1000	175-1000	70-1000	35-180
Life (hr)	750-12,000	7,500-24,000	10,000-20,000	16,000-15,000	1,500-15,000	24,000 (10,000)	18,000
Efficacy (lumens/W) lamp only	15-25	55-100	50-80	50-60 (20-25)	80-100	75-140 (67-112)	Up to 180
Lumen maintenance	Fair to excellent	Fair to excellent	Fair	Very good (good)	Good	Excellent	Excellent
Color rendition	Excellent	Good to excellent	Good to excellent	Poor to excellent	Very good	Fair	Poor
Light direction control	Very good to excellent	Fair	Fair	Very good	Very good	Very good	Fair
Relight time	Immediate	Immediate	Imm- 3 seconds	3-10 min.	10-20 min.	Less than 1 min.	Immediate
Comparative fixture cost	Low: simple	Moderate	Moderate	Higher than fluorescent	Generally higher than mercury	High	High
Comparative operating cost	High	Lower than incandescent	Lower than incandescent	Lower than incandescent	Lower than mercury	Lowest of HID types	Low

Компактните люминесцентни лампи (CFL) са газоразрядни лампи, които използват електроенергията, за да се изпари живак и получи електрическа дъга, чрез която електрическата енергия се преобразува във видима светлина. Тъй като CFL не са точкови източници (като лампите с нажежаема жичка), те не са толкова ефективни при голямо разстояние до осветяваната повърхност. Светлината е поразсеяна и е трудно да се съсредоточи върху предназначени цели.

Светлоотдаваемостта може да намалее, когато се използват осветителни тела, които задържат топлина близо до лампата. Ориентацията на лампата също може да повлияе на светлоотделянето. В зависимост от дизайна на лампата и температурата на околната среда светлоотдаваемостта при насочена надолу лампа може да бъде с 15% по-малка, отколкото при насочена нагоре лампа.

Въпреки тези трудности повечето компактни луминесцентни лампи осигуряват съпоставимо качество на светлината с лампа с нажежаема жичка, като значително намаляват консумацията на енергия. Дори ако се намалят малко живота или светлинният поток, ползите от компактни луминесцентни лампи са достатъчно големи и обикновено тяхното използване е рентабилна инвестиция.

Третият източник на светлина е **светодиод** или съкратено LED. Може да се каже, че те са най-икономичният източник на светлина и с най-дълъг живот от всичките три варианта. Голямо предимство на LED осветлението е продължителността на живота им, която е между 50 000 и 100 000 часа. Друга тяхна положителна характеристика е, че LED не изгарят изведнъж, както лампите с нажежаема жичка. При тях с течение на времето (след 50 000 - 100 000-ия час) светлинният интензитет постепенно намалява. Това ви позволява да реагирате бързо, без да се притеснявате, че в някакъв момент ще бъдете „сляп”. Лампите LED са здрави и дълготрайни и издържат на студ и топлина в сравнително широк диапазон.

Лампите LED се състоят от групи светодиоди, използващи малко количество енергия, но също така отделящи малко количество видима светлина. Тяхното основно предимство е размерът им и те се използват често като сигнални лампи за индикация в електронно обзавеждане.

Технологичният напредък в осветлението е бърз и новите продукти и технически решения непрекъснато достигат пазара. Това се случва едновременно със създаването на нови наредби с цел постепенното премахване на неефективните енергийни технологии.

Фигура 5.2. показва снимки на различните източници на светлина, описани в текста.



Фиг. 5.2. Отляво надясно: лампа с нажежаема жичка;
компактна луминесцентна лампа; светодиод

5.2.3. Ориентировъчен работен лист за оценка на осветителни уредби

Операция: Преминете през помещенията в извънработно време, като отбележите дали осветлението е изключено на неизползваните места.

Изключено ли е осветлението в неизползваните места?

- Да Проверявайте периодично.
- Не Научете персонала да изключва осветлението в края на работния ден.

Помолете персонала по охрана или по почистването да се уверява, че осветлението е изключено. Помислете за монтирането на таймери или сензори, които автоматично изключват осветлението. Помислете за инсталиране на система за управление на осветлението на съоръжението. Помислете за управление на осветлението във външния двор и около сградата чрез детектори за движение.

Чисти ли са осветителните тела?

- Да Проверявайте периодично, за да се поддържа техният коефициент на полезно действие.
- Не Измийте лампите, разсейвателите и отражателите, за да премахнете натрупаните замърсявания и мазнини.

Измерете осветеността на работните места с луксметър и сравнете резултатите със стандартните изисквания за осветеност в зависимост от извършваната работа.

Нивата на осветеност подходящи ли са работата, извършвана във всяко помещение?

- Да Проверявайте периодично, за да се поддържа необходимата стойност.
- Не Ако нивата на осветеност са прекалено високи, помислете за изключване на част от лампите или за модернизация с високо ефективни лампи с по-малка мощност. Ако нивата на осветеност са прекалено ниски, помислете за инсталирането на допълнителни осветители; ако това не е възможно, консултирайте се с експерт по осветлението.

6. Електроснабдителни системи

Електричеството е най-широко използваната форма на енергия в производствените предприятия, обществения сектор и бита. Въпреки това системите за електроснабдяване и електрообзавеждане имат специфични особености и се познават добре само от тесните специалисти в тази област. Ефективното използване на електрическата енергия позволява на търговските, промишлени и обществени организации да сведат до минимум оперативните си разходи и да увеличат печалбата, за да останат конкурентоспособни.

Има няколко начина за подобряване ефективността на електроснабдителните системи. Икономически ефективен начин е да се провери всеки компонент на системата относно възможности за намаляване на загубите на електрическа енергия. Квалифицирано лице трябва да следи електроснабдяването и

електрообзавеждането, тъй като неефективното натоварване на електрическите съоръжения е честа причина за загуби на енергия.

Електрозахранването е един от основните фактори, засягащи подбора, инсталирането, експлоатацията и поддръжката на технологичните съоръжения, задвижвани с електрически двигатели. На всяко използвано ниво на напрежение в индустрията има няколко разпределителни уредби (подстанции, трансформаторни постове, разпределителни табла), които разпределят електрическата енергия към различни обекти и консуматори, например помпи, технологични съоръжения и машини, вентилатори, компресори, нагреватели, осветление и др.

В повечето индустриални съоръжения има четири възможности за намаляване на разходите за електричество:

- намаляване на общото количество електрическа енергия (измерена в kWh), консумирана от съоръжението;
- намаляване на върховото потребление, т.е. максималната мощност (в kW), на съоръжението;
- подобряване на фактора на мощността на съоръжението – намаляване на реактивната мощност (в kVAr);
- прехвърляне потреблението на енергия във време, когато разходите за енергия са по-ниски (през нощната тарифна зона).

6.1. Възможности за енергиен мениджмънт

Необходимо е да се следи и анализира товаровия график на предприятието и да се използва систематичен подход за управление на използването на електрическа енергия.

Подходящо е използването на системи за енергиен мениджмънт, каквито се предлагат на пазара. При тези системи се извършва он-лайн измерване на параметрите на електропотреблението в основните точки от електроснабдителната система на обекта. Данните от измервателните уреди се подават в реално време към компютъризирана система за контрол на електропотреблението. Системата дава информация за електрическата енергия, активната и реактивната мощност, качеството на напрежението и други параметри. Съществува възможност за управление на някои консуматори с цел оптимизация на електропотреблението. Системите за енергиен мениджмънт сами не дават икономия на енергия, но позволяват чрез анализ на данните да се оптимизира работния режим на технологичните и на електрическите съоръжения. В резултат се намалява разхода на електроенергия и се повишава надеждността и качеството на електроснабдяването.

Не забравяйте също, че усилията трябва да бъдат на широка основа и да получат подкрепа от операторите на технологичните и електрическите съоръжения. В началото трябва да има разяснителна кампания. Служителите трябва да бъдат наясно с разходите за енергия и за други нужди и нивото на тези разходи в завода. Трябва да има ефективна система за комуникация на място, за да се споделят с всички резултатите от усилията за енергийна ефективност.

6.2. Заплащане на електрическата енергия

Промишлените предприятия в България имат две възможности за заплащане на активната електрическа енергия:

- По тризонова тарифа и фиксирани цени, утвърдени от Държавната комисия по енергийно и водно регулиране (ДКЕВР);
- По свободно договорена цена с лицензиран търговец на електрическа енергия. В този случай се изисква ежедневно подаване на заявка за товаров график на консумираната електрическа енергия.

При по-големите предприятия се контролира и разхода на реактивна енергия. На абонатите се налагат финансови санкции, когато работят с нисък фактор на мощността ($\cos \varphi$).

Разбирането на системата за фактуриране и заплащане е важна първа стъпка при поемането на контрола върху разходите за електрическа енергия в едно предприятие.

6.2.1. Заплащане на електрическата енергия според действащата тарифа в България

Колкото електропотреблението е по-равномерно през денонощието и годината, толкова натоварването на електрическите централи и мрежи е по-постоянно и себестойността на електрическата енергия е по-ниска. Затова изравняването на общия товаров график води до значителен ефект за електроенергийната система и страната като цяло. Средствата за подобряване на товаровия график обаче трябва да ги дават потребителите на електрическа енергия (предприятия, обществени организации и граждани). Затова като икономически лост, който отразява общите интереси на държавата и обществото като цяло, служи **тарифата за електрическата енергия**. В нея са предвидени различни цени на електрическата енергия, зависещи от часа през денонощието и други фактори.

В България сега действа електромерна тарифа, по която се заплаща консумираната активна електрическа енергия в зависимост от три показателя:

1. Според вида на потребителите:

- а) население, използващо електрическа енергия за *битови нужди*;
- б) държавни и общински организации, юридически и физически лица, използващи електрическа енергия за *стопанска и обществена дейност*. На практика в тази група са включени всички абонати, които не спадат недвусмислено към първата група.

2. Според зоната (часа) от денонощието, през която е консумирана електрическата енергия:

- а) енергията за битови нужди се измерва в две зони, съответно *нощна* и *дневна*. Нощната зона е с продължителност от 8 часа и през зимния период е от 22 h до 06 h, а през летния период е от 23 h до 07 h. При това не се налага пренастройване на тарифните часовникови превключватели при преминаване от астрономическо към лятно часово време и обратно.

б) енергията за стопанска и обществена дейност се измерва в три зони, съответно *нощна, дневна и върхова*. Нощната зона съвпада с тази на енергията за битови нужди. Върховата зона е с продължителност от 6 часа, разделени на две части през денонощието, които съвпадат със сутрешния и вечерния връх от товаровия график на електроенергийната система. През зимния период върховата зона е от 08 h до 11 h и от 18 h до 21 h, а през летния период е от 08 h до 12 h и от 20 h до 22 h. Дневната зона обхваща останалите 10 часа от денонощието, които се получават разделени на три части.

Цените са най-ниски през нощната тарифна зона, по-високи са през дневната зона и най-високи – през върховата зона.

3. Според нивото на напрежението, на което се измерва електрическата енергия:

- а) измерване на страна ниско напрежение;
- б) измерване на страна средно напрежение;
- в) измерване на страна високо напрежение.

Колкото на по-високо ниво се измерва електрическата енергия, толкова по-голяма част от загубите на енергия се включват в измерената енергия, т.е. се заплащат от купувача. За сметка на това, колкото е по-високо нивото на измерване, толкова е по-малка цената на електрическата енергия.

Конкретните цени се обосновават и заявяват от търговците на електрическа енергия и се утвърждават от Държавната комисия за енергийно и водно регулиране. До 2005 г. цените бяха еднакви за цялата страна, но след това има известни различия. Сега действащите цени имат пет съставлящи - за производство, за пренасяне (по ел. преносните мрежи), за разпределение (за пренасяне по разпределителните мрежи), за достъп до преносната мрежа и за достъп до разпределителната мрежа и две добавки, за зелена енергия и за високо ефективно комбинирано производство на топлинна и електрическа енергия.

За абонатите, захранвани от електроразпределителните дружества, цената има седем съставки - основна продажна цена (различна за отделните тарифни зони) и още шест компоненти (еднакви за всички тарифни зони): цена за пренос през електропреносната мрежа; цена за достъп до електропреносната мрежа; цена за пренос през електроразпределителната мрежа; цена за достъп до електроразпределителната мрежа; цена за зелена енергия; цена за високо ефективно комбинирано производство на топлинна и електрическа енергия.

Действащите цени от 01.07.2011 г. за заплащане на електрическата енергия в Североизточна България (със собственик на разпределителната мрежа фирмата Е.Оп България Мрежи АД) са представени в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Цени на електрическата енергия от 01.07.2011 г., лв/kWh

Енергия за битови потребители			
		Зона от денонощието	
		дневна	нощна
1	Цена по тарифа	0.08910	0.02843
2	Цена за пренос по ел. преносната мрежа	0.00899	0.00899
3	Цена за достъп до ел. преносната мрежа	0.00674	0.00674
4	Цена за пренос по ел. разпред. мрежа	0.03772	0.03772
5	Цена за достъп до ел. разпред. мрежа	0.00800	0.00800
6	Добавка за зелена енергия	0.00372	0.00372
7	Цена за комбинирано производство	0.00286	0.00286
Обща цена без ДДС		0.15713	0.09646
Обща цена с ДДС		0.18856	0.11575
% спрямо 2010 г.		+1.92 %	+ 1.90 %

Енергия за стопанска и обществена дейност							
Начин на измерване	Зона в денонощието	Цена при ниво на напрежението					
		Средно напрежение			Ниско напрежение		
		По тарифа	Общо без ДДС	Общо с ДДС	По тарифа	Общо без ДДС	Общо с ДДС
С три скали	Върхова	0.14838	0.19050	0.22860	0.18344	0.25147	0.30176
	Дневна	0.08867	0.13079	0.15695	0.09099	0.15902	0.19082
	Нощна	0.03417	0.07629	0.09155	0.02766	0.09569	0.11483
С две скали	Дневна	0.11259	0.15471	0.18565	0.12112	0.18915	0.22698
	Нощна	0.03417	0.07629	0.09155	0.03213	0.10016	0.12019
С една скала	-	0.10982	0.15194	0.18233	0.11389	0.18192	0.21830

6.2.2. Възможности пред абонатите за избор на начин на измерване

Тарифата дава възможност на абонатите сами да избират начина на измерване и заплащане на електрическата енергия. За целта те подават писмена заявка до електроснабдителната организация.

При присъединяване на нов обект, начинът на измерване се уточнява в договора за присъединяване. При действащ обект, за да се иска промяна на начина на измерване, трябва да се посочат съответни мотиви. В този случай разходите за промяна, без цената на самите измервателни уреди, са за сметка на абоната.

За битовите абонати винаги е по-изгодно да измерват енергията с двутарифен електромер, тъй като при измерване с еднотарифен цялата енергия се заплаща по цени за дневна енергия.

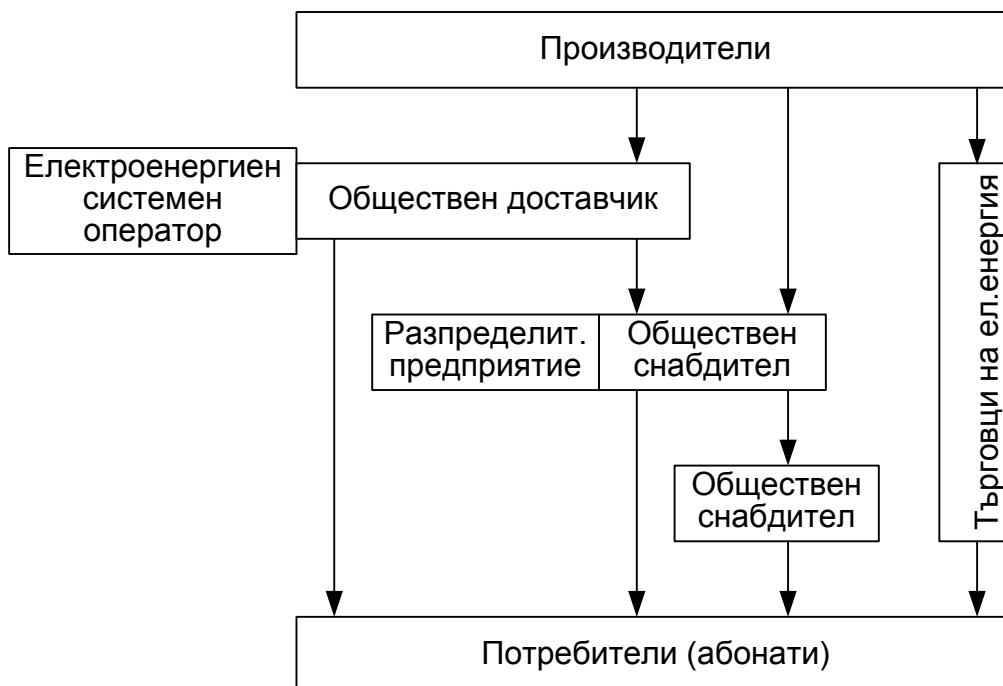
За останалите абонати оптималният брой на използваните тарифни зони зависи от вида на денонощния товаров график, но обикновено е най-изгодно да се измерва енергията с тритарифен електромер (с три скали). Друг вид измерване може да се окаже в малка степен по-добър в следните случаи: с еднотарифен електромер – при липса на нощно електропотребление; с двутарифен електромер – при голям дял на нощната и върховата енергия и малък дял на дневната енергия.

Нивото на напрежение, на което се измерва електрическата енергия, се избира с някои технически ограничения. То не може да бъде по-високо от напрежението на хранящия източник. При всички случаи за абоната е по-изгодно да измерва електрическата енергия на по-високо напрежение, защото разликата в цените е значителна, докато реалното увеличение на загубите на електрическа енергия, които ще заплаща абоната при измерване на по-високо напрежение, е 1 - 3%.

Измерване на високо напрежение може да има само при предприятия, хранвани чрез електропроводи 110 kV. При хранване на предприятието (абоната) на ниско напрежение, измерването може да бъде само на ниско напрежение. При хранване на средно напрежение на по-големи предприятия (с разпределителна подстанция или с няколко трафопоста) измерването е на средно напрежение. При хранване с един трансформатор, според отменения „Правилник за устройство на електрическите уредби“, при трансформатор с мощност до 400 kVA измерването се извършва на страна ниско напрежение, а при мощност над 400 kVA – на страна средно напрежение. Според действащите „Правила за измерване на количеството електрическа енергия“ (ДВ бр. 67/2004 г.) мястото на измерване е на страната с по-високо напрежение на понижаващия трансформатор на потребителя. В практиката това не винаги може да се спазва по технически (липсват токови трансформатори за малък ток) или по технико-икономически причини (трафопостът е без напрежителни трансформатори и няма място за тях).

6.2.3. Търговия с електрическа енергия в България. Привилегировани потребители, балансиращ механизъм и нормативна уредба

Според „Закон за енергетиката“ (ДВ бр. 107/2003 г.) търговия с електрическа енергия могат да осъществяват лицензирани производители, обществени доставчици, обществени снабдители и търговци на електрическа енергия. Обобщена схема за търговия е показана на фиг. 6.1.



Фиг. 6.1. Обобщена схема за търговия с електрическа енергия

Сделките с електрическа енергия могат да се извършват по три начина:

- по регулирани от ДКЕВР цени;
- по свободно договорени цени;
- на организиран пазар на балансираща електрическа енергия.

Засега най-разпространени са *сделките по регулирани цени* (такива са посочените в табл. 6.1). Регулираните цени се заявяват със съответна икономическа обосновка от търговците на електрическа енергия и се утвърждават от ДКЕВР за определен срок (регулаторен период). Регулираните цени представляват горната граница (най-високата стойност), по която потребителите могат да заплащат електрическата енергия.

Сделки по свободно договорени цени могат да сключват помежду си производителите (за количества, определени от ДКЕВР), търговците на електрическа енергия и привилегированите потребители. От 01.07.2007 г. всички потребители са привилегировани. Свободно договорените цени по принцип са по-ниски от регулираните. Привилегированият потребител може да сключва сделка (теоретично с всеки лицензиран търговец на електрическа енергия) по свободно договорени цени, ако отговаря на няколко условия. Например всеки ден трябва да подава заявка с *график за доставка* (товаров график) за очакваното електропотребление през следващото денонощие. Енергията по графика се заплаща по договорената цена, но всяко отклонение от графика се заплаща на по-висока цена.

Търговските участници, вкл. потребители, с обекти присъединени към преносната мрежа, могат да участват на *пазара на балансираща енергия*. Балансирането представлява компенсирание на разликата между количествата потребена (произведена) енергия и количествата по графика за доставка,

съгласно сключения договор. Чрез заявка за балансиране даден участник може да се отклони от графика за доставка, но срещу съответна цена за увеличаване или намаляване на потреблението(производството). Заявката за балансиране не може да бъде по-малка от 10 MW. Администрирането на сделките с електрическа енергия и организирането на пазар на балансираща енергия се осъществява от оператора на електроенергийната система.

Операторът прилага *системата за сетълмент* за индивидуално изчисляване на отклоненията на реално потребената или произведена електрическа енергия от договорените количества за определен период (по методика, дадена в *“Правила за търговия с електрическа енергия”*). Периодът на сетълмент за всички сделки с електрическа енергия при свободно договорени цени, както и за пазара на балансираща енергия, е 60 минути и започва на кръгъл час.

Приложение: Някои цени на електрическата енергия след 01.07.2011 г.

1. Цени без ДДС, по които производителите продават електрическа енергия на обществения доставчик, лв./MWh.

№	Производител	Цени 2011 г.				Цени 2010 г.
		Прогноза GWh	За енергия	За разполагаемост	Общо	Общо
1	АЕЦ “Козлодуй”	9 000	15,30	27,00	42,30	43,81
2	ТЕЦ “Бобов дол”	1 000	63,10	16,32	79,42	79,24
3	ТЕЦ “Марица 3”	100	69,54	11,06	80,60	76,01
4	Топлофикация Русе				-	75,69
5	ТЕЦ “Варна”	1 132	83.59	-	83.59	70,69
6	ТЕЦ “Марица изток 2”				-	62,51

2. Цени без ДДС, по които НЕК продава ел.енергия:
 На ЕРД и крайните снабдители – 74.69 лв./MWh;
 За пренасяне – 9.32 лв./MWh;
 Добавка към цената за пренос за зелена енергия – 3.72 лв./ MWh;
 Добавка към цената за пренос за високо ефективно комбинирано производство – 2.86 лв./ MWh;
 Цена за достъп към ECO – 6.99 лв./MWh.

6.3. Подобряване фактора на мощността

6.3.1. Необходимост от компенсиране на реактивната мощност

Принципът на действие на редица основни електрически консуматори (двигатели, трансформатори, индукционни и дъгови пещи, газоразрядни лампи и др.) е свързан с използването на променливо електромагнитно поле. При създаването на такова поле се получава дефазирание между векторите на

напрежението и тока във веригата. В такъв случай пълният ток I условно може да се разложи на две съставки (фиг.6.2а) – активна I_a , съвпадаща по фаза с напрежението, и реактивна I_p , изместена на 90° .

Пълната мощност S също се разлага на две съставки и се разглежда като векторна сума на активната мощност P и реактивната мощност Q (фиг.6.2б).



Фиг.6.2. Векторни диаграми на токовете (а) и на мощностите (б) във верига с активен и реактивен товар

Електрическата енергия при променлив ток, както и електрическата мощност, се разделя на активна и реактивна. **Активната енергия** се произвежда от електрическите генератори, пренася се до консуматорите и там извършва полезна работа или се отделя във вид на топлинни загуби. **Реактивната енергия** служи за създаването на електромагнитно поле в потребителите. Тя не се преобразува в друг вид енергия, а само циркулира между източника и потребителите с двойна честота спрямо напрежението.

Отношението на активната към пълната мощност ($\cos \varphi$ от фиг.6.2б) е прието да се нарича **фактор на мощността**. Колкото $\cos \varphi$ на консуматорите е по-нисък, толкова по-голяма реактивна мощност (при една и съща активна мощност) е необходимо да се произведе и пренесе до тях. При това токът във всички елементи на веригата от източника до потребителя е по-голям, което води до следните недостатъци:

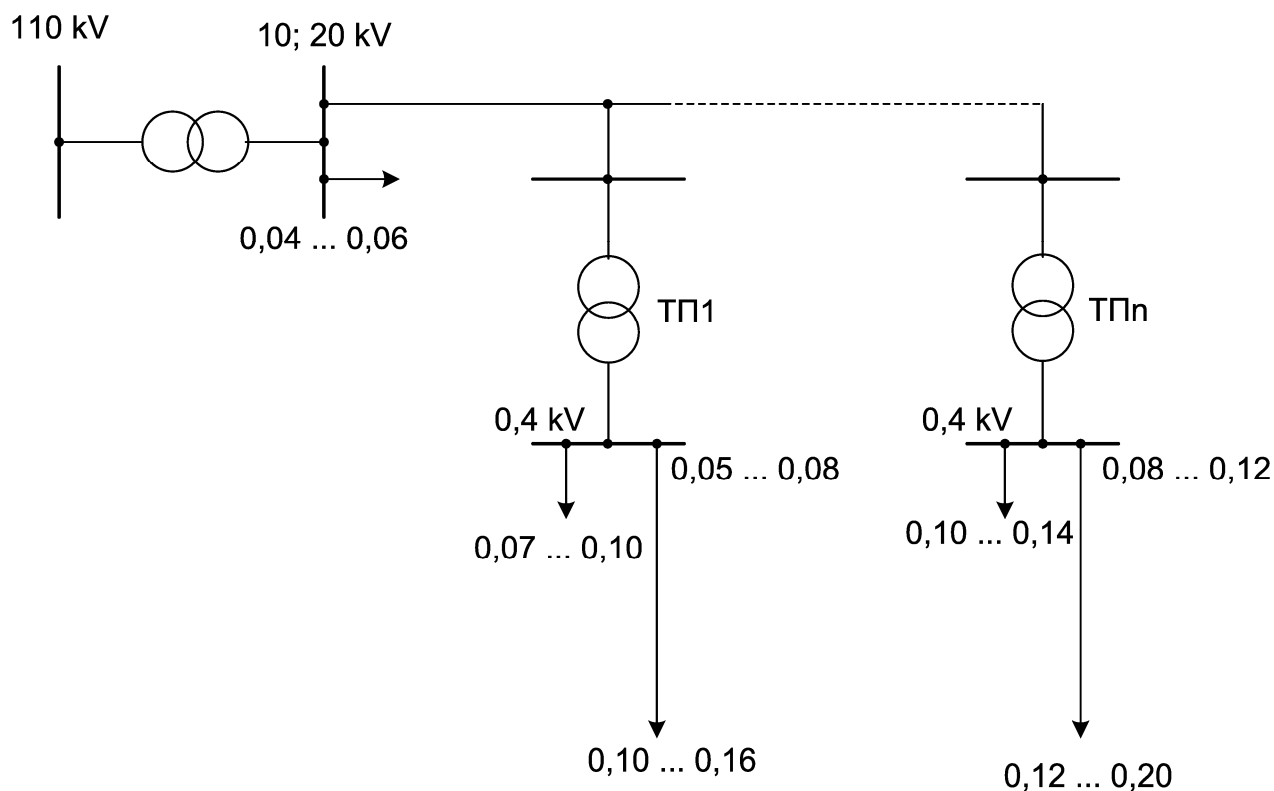
- получават се допълнителни загуби на активна мощност и енергия;
- получават се допълнителни загуби на напрежение;
- необходимо е повишаване номиналните мощности на всички генериращи, трансформирани и преносни съоръжения;
- намалява се пропускателната възможност на електроенергийните съоръжения;
- непълно се използват съоръженията по активна мощност и се намалява техният к.п.д.

Изброените недостатъци показват, че е технически и икономически изгодно да се разтоварват линиите и трансформаторите от пренасянето на част от реактивната мощност, т.е. източниците на реактивна мощност да се приближават до потребителите. Затова в предприятията, използващи електрическа енергия, трябва да се вземат мерки за повишаване на $\cos \varphi$ до икономически целесъобразни стойности.

6.3.2. Загуби на активна енергия вследствие пренасянето на реактивна енергия

Основната част от реактивната енергия се произвежда от генераторите в електрическите централи. Нейното количество се регулира чрез промяна на възбудянето на генераторите. Това производство е евтино.

Технически и икономически проблем представляват допълнителните загуби на активна мощност и енергия, които се получават при пренасянето на реактивната енергия през електропроводите и трансформаторите по веригата източник - консуматор. Стойността на тези загуби се характеризира с икономическия еквивалент на реактивната мощност (kW/kVAr). Той зависи от електрическата отдалеченост между източника и консуматора. Приблизителните му стойности за електроенергийната система на България са посочени на фиг. 6.3.



Фиг. 6.3. Приблизителни стойности за икономическия еквивалент на реактивната мощност kW/kVAr за характерни точки от електрическа мрежа

6.3.3. Нормативна база

За да се намалят загубите при пренасяне трябва част от реактивната енергия да се произведе в близост до консуматорите чрез кондензаторни батерии. Това се стимулира чрез нормативни документи.

Съгласно действащата тарифа за заплащане на електрическата енергия абонатите с предоставена електрическа мощност **над 100 kW** измерват и заплащат потребената от и отдадената в електрическата мрежа реактивна

енергия. (НАРЕДБА за регулиране на цените на електрическата енергия ДВ, бр. 17 от 2.03.2004 г., изм. и доп., бр. 62 от 31.07.2007 г.)

Отдадената реактивна енергия се заплаща на цена за 1 kVAh, равна на цената за 1 kWh активна електрическа енергия от средната продажна цена на обществения снабдител за предходната календарна година (за електроразпределителните дружества тази цена е около 0.12 лв/kWh).

Закупената реактивна енергия през нощната тарифна зона не се контролира и заплаща.

За дневната и върховата тарифна зона е предписан (желан) $\cos \varphi = 0.9$, на който съответства $\operatorname{tg} \varphi = 0.49$. Затова през дневната и върховата тарифни зони се консумира без заплащане реактивна енергия до 49% от количеството на закупената активна енергия през съответната зона. Закупената в повече реактивна енергия се заплаща по цена за 1 kVAh, равна на 10% от цената за 1 kWh активна електрическа енергия от средната продажна цена на обществения снабдител за предходната календарна година.

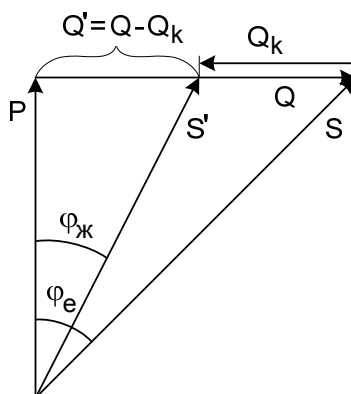
6.3.4. Избор на мощността на кондензаторните батерии

На фиг. 6.4. е показано как се отразява включването на кондензаторна батерия с мощност Q_k върху стойностите на консумираните реактивна и пълна мощност. С Q и S са означени стойностите съответно на реактивната и пълната мощност преди компенсацията, а с Q' и S' – след компенсацията. Намалването на S води до пропорционално намаляване на протичащия ток и съответно на загубите на напрежение, мощност и енергия във всички елементи на мрежата от електрическия генератор до точката на свързване на КБ.

Изборът на мощността на кондензаторните батерии Q_k в едно предприятие се извършва на основата на векторната диаграма, показана на фиг.6.4, по формулата:

$$Q_k = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_e - \operatorname{tg} \varphi_{\text{ж}}) , \quad (6.1)$$

Където: $\operatorname{tg} \varphi_e$ е естественият $\operatorname{tg} \varphi$ на предприятието; $\operatorname{tg} \varphi_{\text{ж}}$ – желаният $\operatorname{tg} \varphi$, съответстващ на желания $\cos \varphi$.



Фиг. 6.4. Векторна диаграма на мощностите преди и след компенсацията на част от реактивния товар

Пример 1: Да се определи необходимата мощност на кондензаторните батерии за предприятие с максимална активна мощност $P_M = 320 \text{ kW}$ и максимална реактивна мощност $Q_M = 280 \text{ kVAr}$.

Решение: Естествената стойност на $\text{tg}\varphi$ в периода на максимален товар е:

$$\text{tg}\varphi_{\text{ем}} = \frac{Q_M}{P_M} = \frac{280}{320} = 0,875;$$

на която съответства естествен фактор на мощността $\cos\varphi_{\text{ем}} = 0,75$.

Необходимата мощност на кондензаторната батерия в периода на максимален товар се определя по уравнение (6.1):

$$Q_{\text{км}} = P_M \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{ем}} - \text{tg}\varphi_{\text{ж}}) = 320 \cdot (0,875 - 0,49) = 123,2 \text{ kVAr}.$$

Тъй като изчисленията са направени с максималните товари, мощността на кондензаторната батерия може да се закръгли към по-ниска стойност, например 120 kVAr .

Пример 2: Да се определи необходимата мощност на кондензаторните батерии за предприятие, за което не се разполага с товарови графици и не е известна максималната мощност. От фактурите за заплащане на електрическата енергия се взема месечната консумация на електрическа енергия през дневната и върховата тарифни зони съответно: активна $W = 120000 \text{ kWh}$; реактивна $V = 114000 \text{ kVArh}$. Предприятието работи без почивни дни.

Решение: Необходимата мощност на кондензаторните батерии може да се определи само приблизително, чрез средния товар, по уравнение (6.1). Продължителността на дневната и върховата тарифни зона за едно денонощие е $10+6 = 16 \text{ h}$, а за един месец с 30 работни дни е:

$$T_{\text{мес}} = 30 \cdot 16 = 480 \text{ h}.$$

Средномесечната активна мощност през дневната и върховата тарифни зони е:

$$P_c = \frac{W}{T_{\text{мес}}} = \frac{120000}{480} = 250 \text{ kW}.$$

Средномесечният $\text{tg}\varphi$ през дневната и върховата тарифни зони е:

$$\text{tg}\varphi_c = \frac{V}{W} = \frac{114000}{120000} = 0,95,$$

а съответният фактор на мощността е $\cos\varphi_c = 0,72$.

Необходимата мощност на КБ е:

$$Q_{\text{кб}} = P_c \cdot (\text{tg}\varphi_{\text{ес}} - \text{tg}\varphi_{\text{ж}}) = 250 \cdot (0,95 - 0,49) = 115 \text{ kVAr}.$$

Тъй като изчисленията са направени със средния товар, е желателно получената стойност да се завиши с $(10 - 15)\%$. В случая е подходящо да се избере кондензаторна батерия с мощност 130 kVAr .

6.3.5. Избор на кондензаторна уредба

В повечето предприятия, които са изградени преди 20 и повече години, компенсирането на реактивната енергия е на ниско технологично ниво. Най-често се използват кондензаторни батерии с маслена изолация, индукционни или електронни регулатори (те са с изключително ниска надеждност и практически не работят), обикновени контактори.

Тези елементи имат редица недостатъци:

1. Кондензаторните батерии работят с *големи загуби на активна енергия (около 4 W/kVAr)*; пожароопасни са; имат малък живот (според БДС 3308-78 животът им е 5 години).

2. Индукционни или електронни регулатори на практика не могат успешно да регулират реактивната енергия (съвременните микропроцесорни електромери регистрират и най малкото отклонение на показателите на енергията).

3. Обикновените контактори не са подходящи за често комутиране на капацитивен товар.

В такъв случай е необходимо компенсирането на реактивната енергия да се приведе на съвременно технологично ниво. Може да се препоръча монтиране на:

- нови кондензаторни батерии със *суха изолация*;
- *микропроцесорен регулатор* за управление на батериите;
- специални кондензаторни контактори за комутиране на капацитивен товар.

Преди монтаж на кондензаторни батерии е необходимо да се направи проверка за наличие на *висши хармоници*.

Съвременните електроенергийни мрежи съдържат все повече консуматори с нелинейно натоварване. Това води до значително изкривяване на основната синусоидална форма на консумирания ток, а като следствие, и на захранващото напрежение. Според БДС EN 50160:2003 общият коефициент на несинусоидалност не трябва да превишава 8%.

Наличието на висши хармоници е опасно за кондензаторните батерии. Нормалните кондензаторни батерии допускат претоварване по несинусоидалност до 30%. При по-голяма несинусоидалност за решаване на проблема трябва да се предвидят филтри за висши хармоници.

6.3.6. Ефект от реконструкцията на кондензаторна уредба

Ако предприятието използва достатъчни по мощност стари кондензаторни батерии (КБ) и не заплаща надбавки за нисък $\cos \phi$ - след монтиране на сухи КБ се намаляват загубите на активна енергия в тях (срок на откупуване 6 - 7 години); повишава се надеждността; решава се екологичният проблем със съхраняването на изолационното масло).

Ако предприятието не използва, или използва КБ с недостатъчна мощност или с неподходящо регулиране - след монтаж на нова кондензаторна уредба не се заплащат надбавки за нисък $\cos \phi$ (срок на откупуване около 1 година); намаляват (и не се заплащат) загубите на активна енергия в мрежата между търговския електромер и точката на свързване на КБ; намаляват загубите на

активна енергия в електропреносната и разпределителната мрежа (тези загуби не участват в баланса на предприятието, но се отчитат косвено чрез надбавките за нисък $\cos \phi$; тези загуби могат да се включат в намаляването на емисиите на CO_2).

Пример 1: Оценка икономииите на енергия при изграждане на нова компенсираща уредба.

Предприятие разполага със стари, амортизирани кондензаторни батерии, които не се използват, затова заплаща надбавки за консумирана в повече реактивна енергия.

	Описание	Стойност		Формула	Бележки
A	<u>Съществуващо положение</u>				
B	Средномесечен косинус ϕ	0.80			констатирано
C	Годишни загуби в силовите тр-ри и кабели	163 114	kWh		изчислено
D	Средна цена на електрическата енергия	0.11896	лв./kWh		изчислено
E	Стойност на загубите в тр-рите и кабелите	19 404	лв./год	$C \cdot D$	изчислено
F	Годишни разходи за реактивна енергия	14 533	лв./год		по фактури
G					
H	<u>След монтаж на нови кондензатор. уредби</u>				
I	Мощност на кондензаторните батерии	400	kVAr		изчислено
J	Желан косинус ϕ	0.92			по тарифа
K	Средна годишна използваемост	4 000	h		по эксп. оценка
L	Годишно производство на реактивна енергия	1 600 000	kVArh	$I \cdot K$	изчислено
M	Специфични загуби в кондензаторни батерии	0.0006	kW/kVAr		по справочни данни
N	Годишни загуби на ел. енергия в конд. батерии	960	kWh	$L \cdot M$	изчислено
O	Средна цена на електрическата енергия	0.11896	лв./kWh		без промяна
P	Годишни разходи за загуби на ел. енергия	114	лв./год	$N \cdot O$	изчислено
Q	Годишни разходи за реактивна енергия	1200	лв./год		по эксп. оценка

R	Годишни загуби в силовите тр-ри и кабели	156 350	kWh		изчислено
S	Стойност на загубите в тр-рите и кабелите	18 599	лв./год	R*O	изчислено
T	<u>Икономии</u>				
U	Икономия на активна енергия	5 804	kWh/год	C-R-N	изчислено
V	Икономия от намаляване на загубите	690	лв./год	E-S-P	изчислено
W	Икономии от разходи за реактивна енергия	13 333	лв/год.	E-Q	изчислено
X	Общи годишни икономии	14 023	лв/год.	V+W	изчислено
Y	Годишни разходи за Е & П	340	лв/год.		по експ. оценка
Z	Нето икономии	13 683	лв/год.	X-Y	изчислено
AA	Инвестиция за реализация на енергосп. мярка	15 000	лв		по оферта
AB	Срок на откупуване	1.10	год	AA/Z	изчислено

В резултат ще се намалят значително разходите за заплащане на реактивна енергия и ще се намалят загубите на активна електрическа енергия в силовите трансформатори и кабели с 5 804 kWh/год.

Пример 2: Оценка икономии на енергия при реконструкция на съществуваща компенсираща уредба.

Предприятие разполага и използва стари кондензаторни батерии с маслена изолация.

	Описание	стойност		формула	бележки
A	<u>Базова линия</u>				
B	Подлежаща на замяна кондензаторна мощност в ТП5	760	kVAr		констатирано
C	Годишна използваемост	7 000	h		по експ. оценка
D	Годишно производство на реактивна енергия	5 320 000	kVArh	B*C	изчислено
E	Подлежаща на замяна кондензаторна мощност в ТП9	380	kVAr		констатирано
F	Годишна използваемост	5 500	h		по експ. оценка
G	Годишно производство на реактивна енергия	2 090 000	kVArh	E*F	изчислено

H	Подлежаща на замяна кондензаторна мощност в ТП12	480	kVAr		констатирано
I	Годишна използваемост	5 000	h		по експ. оценка
J	Годишно производство на реактивна енергия	2 400 000	kVArh	H*J	изчислено
K	Специфични загуби в кондензаторните батерии	0.0045	kW/kVAr		по справочни данни
L	Годишни загуби на ел. енергия в кондензаторните батерии	44 145	kWh	K*(D+G+J)	изчислено
M	Средна цена на електрическата енергия	0.09692	лв./kWh		изчислено
N	Годишни разходи за загуби на ел. енергия	4 279	лв./год	L*M	изчислено
O					
P	<u>След замяна на кондензаторните батерии</u>				
Q	Заменени кондензаторни батерии в ТП5	760	kVAr		изчислено
R	Годишна използваемост	6 500	h		по експ. оценка
S	Годишно производство на реактивна енергия	4 940 000	kVArh	Q*R	изчислено
T	Заменени кондензаторни батерии в ТП9	380	kVAr		изчислено
U	Годишна използваемост	5 000	h		по експертна оценка
V	Годишно производство на реактивна енергия	1 900 000	kVArh	T*U	изчислено
W	Заменени кондензаторни батерии в ТП12	480	kVAr		изчислено
X	Годишна използваемост	4 600	h		по експ. оценка
Y	Годишно производство на реактивна енергия	2 208 000	kVArh	W*X	изчислено
Z	Специфични загуби в кондензаторните батерии	0.0006	kW/kVAr		по справочни данни
AA	Годишни загуби на ел. енергия в кондензаторните батерии	5 429	kWh	AA*(S+V+Y)	изчислено
AB	Средна цена на електрическата енергия	0.09692	лв./kWh		без промяна

AC	Годишни разходи за загуби на ел. енергия	526	лв./год	AA*AB	изчислено
AD					
AE	<u>Икономии</u>				
AF	Икономия на електрическа енергия	38 716	kWh/год	L-AA	изчислено
AG	Средна цена на електрическата енергия	0.09692	лв./kWh		изчислено
AH	Икономии от разходи за електрическа енергия	3 752	лв/год.	AF*AG	изчислено
AI	Годишни икономии за Е & П	2 820	лв/год.		по експ. оценка
AJ	Нето икономии	6 572	лв/год.	AH+AI	изчислено
AK	Инвестиция за реализация на енергоспестяващата мярка	43 460	лв		оценка по офертни материали
AL	Срок на откупуване	6.61	год	AK/AJ	изчислено

В резултат от реконструкцията ще се намалят загубите на активна електрическа енергия в кондензаторните батерии с 38716 kWh/год.

6.4. Намаляване консумацията на енергия

В производствените предприятия има различни възможности за оптимизиране разхода на енергия, които включват:

- Разместване на натоварването във времето;
- Оптимално натоварване на електродвигателите;
- Съхранение на продукти и материали в производствения процес и утилизация на енергия, например при нагряване или охлаждане;
- Намаляване на консумацията в спомагателни дейности;
- Използване на уредби и съоръжения за акумулиране на енергия;
- Компенсация на реактивната мощност.

Намаляването на консумацията на енергия е най-лесната част от плана за намаляване на разходите за електроенергия. Първо приложете всички обичайни методи за намаляване на разходите, като например:

- изключване на ненужните лампи и модернизация на осветителните системи с подходящи енергийно ефективни светлинни източници и осветителни тела;
- изключване на ненужното обзавеждане;
- подмяна на съединителите и редукторите между двигателя и задвижваната машина с по-енергийно ефективни съоръжения като честотно-регулируемо задвижване (VSDs), хидравлични съединители или хидромотори, използване на софтверти за плавно пускане;
- замяна на задвижваните машини с нови, енергийно ефективни машини;

- подмяна на старите електрически двигатели с нови високоефективни двигатели.

След това обърнете внимание на процесите и проучете използването на мощността в различни подсистеми (например за отопление, вентилация и климатизация, охлаждане, транспортиране и обработка на материали и съгъстен въздух), така че да намалите консумацията на електроенергия. Инсталирането на система за мониторинг на мощността, заедно с методология за мониторинг и за управление консумацията на електрическа енергия, може да помогне за намаляване консумацията на електрическа енергия с около 5 - 6%.

6.5. Ориентиrowъчен работен лист за оценка на електроснабдителни системи

Време на работа. Разработете електрически профил (товаров график) на натоварване на съоръженията. При липса на информация може да се монтират статични електромери и да съберете данни за няколко месеца. Анализирайте профилите на натоварване.

Може ли употребата на конкретни машини да се пренасочи за извънвърховите часове?

- Да Пренасочете работата.
- Не Не се изисква действие.

Може ли част от Вашето обзавеждане да бъде спряно по време на върховата тарифна зона?

- Да Ако обзавеждането се управлява ръчно, нека операторът го спре по време на върховата тарифна зона.
Ако процесът е автоматизиран, настройте управлението съобразно с необходимото или инсталирайте програмиран таймер.
- Не Не се изисква действие.

Може ли Вашето обзавеждане да се настрои така, че да използва по-малко електрическа енергия?

- Да Модернизирайте обзавеждането при първа възможност, това ще намали потреблението на електрическа енергия.
- Не Не се изисква действие.

Консумация на енергия. Разгледайте всички електрически системи, включително осветлението, с цел модернизация или оперативна модификация, които ще намалят потреблението на електрическа енергия.

Може ли обзавеждането да се изключи когато не се използва, без да се нарушава процеса?

- Да Информирайте операторите, че обзавеждането трябва да се изключи, когато не се използва.

Помислете при възможност за използването на таймери, фотоклетки и сензори, за да се уверите, че обзавеждането е изключено.

- Не Не се изисква действие.

Може ли обзавеждането да бъде снабдено с енергийноефективни двигатели?

- Да Заменете двигателите с енергийноефективни при първа възможност.
- Не Разгледайте възможността за подмяна на износените двигатели с енергийноефективни.

Може ли съществуващото осветление да бъде заменено с енергийноефективно осветление?

- Да Заменете осветлението с енергийноефективни осветителни тела и лампи при първа възможност.
- Не Не се изисква действие.

Може ли предавателните механизми и механичното обзавеждане с ниска ефективност да бъдат модернизирани?

- Да Сменете елементите, които могат да бъдат модернизирани, при първа възможност.
- Не Разгледайте възможността за замяна на стари предавателни механизми и механичното обзавеждане.

Фактор на мощността

Дали факторът на мощността е равен или по-голям от 0.9?

- Да Проверявайте периодично, за да поддържате необходимата стойност.
- Не Помислете за инсталирането на кондензатори за увеличаване на фактора на мощността; това обикновено изисква проучване и проектиране от страна на електроинженер.

Забележка: Добавете допълнителни въпроси към този работен лист за оценка, които са специфични за вашите съоръжения.

7. Индустриално приложение на парните котли

Парата е енергоносител, който, освен че е безвреден, взриво и пожаробезопасен, би могъл сравнително лесно да бъде получен чрез оползотворяване на отпадна топлина от различни технологични процеси. Парата поема и пренася голямо количество топлина в малка маса, което е едно от нейните основни предимства. Причината е, че в процеса на фазово превръщане на водата в пара се поглъщат големи количества топлинна енергия. От друга страна обратният процес на кондензация протича с отделяне на натрупаната скрита топлина. Това свойство на парата я прави не само незаменим енергоносител, но и подходящо работно тяло при процеси на нагряване. Сред

предимствата на водната пара е и факта, че температурата ѝ на нагриване би могла удобно да се регулира, което се реализира чрез изменение на налягането. Затова парата е много подходяща да се използва както индиректно - например за отопление, така и директно - в качеството ѝ на гореща среда. Парата може ефективно да се използва и като овлажнител.

Парен котел или парогенератор?

За производство на пара в промишлеността се използват два типа съоръжения - парни котли и парогенератори. От гледна точка на техническата терминология всички съоръжения, които произвеждат пара, се обединяват под наименованието **парен котел**. Затова е трудно да се направи ясно разграничаване на агрегатите, произвеждащи пара, на парогенератори и парни котли.

Обикновено понятието **парогенератор** се използва в случаите, при които агрегатът няма собствена горивна камера или друг източник на енергия. За превръщането на водата в пара той се нуждае от външен енергиен източник, например топлоносител от контура на атомен реактор. Понятието парогенератор се използва и в случаите, при които агрегатът се захранва електрически. Нарича се електрически парогенератор. Терминът намира приложение и когато самият процес на фазово превръщане протича в серпентина, а не в тръби, както е характерно за традиционните парни котли.

7.1. Видове котли и класификация

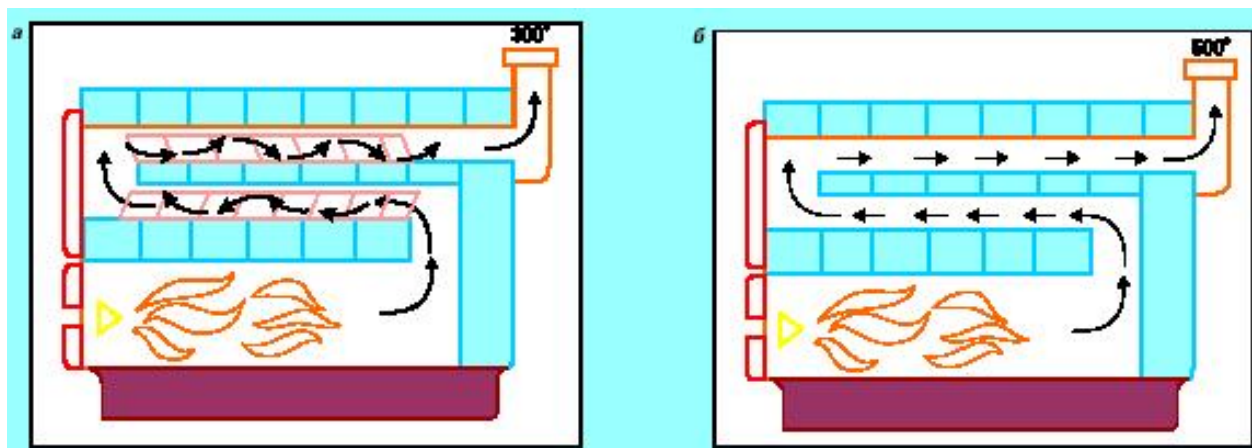
Два са основните признаци за класификация на парните котли - в зависимост от начина на топлообмен и според използваното гориво. Според първия критерий парните котли се разделят на два основни вида - *водотръбни* и *пламъчнотръбни*. В зависимост от използваното гориво те са котли на *твърдо*, *течно* или *газообразно* гориво, както и котли, захранвани с *електроенергия*. Обикновено парните котли, използвани за производство на наситена пара, работят на твърдо гориво. За разлика от тях котлите, използвани в промишлеността, работят на течно гориво, например мазут или дизел. Парните котли, работещи с електроенергия, намират ограничено приложение в промишлеността. Основни причини за това са по-ниското им КПД в сравнение с котлите, работещи с други видове горива и сравнително високата себестойност на електроенергията.

7.1.1. Пламъчнотръбни парни котли

Конструкцията на пламъчнотръбните котли включва пламъчна тръба, в която протича горивният процес, и снопове от димогарни тръби, през които преминават горещите димни газове. Нагриваната вода протича от външната страна на тръбите.

В зависимост от конструктивното си изпълнение пламъчнотръбните парни котли могат да бъдат с хоризонтално или вертикално изпълнение. Добре е да се има предвид, че използването на тези котли е свързано с известни ограничения по отношение на топлинната им мощност. Известно е, че при конструирането на

резервоар с повишено налягане, както са парните котли, дебелината на стената на резервоара се определя в зависимост от неговия диаметър, както и стойностите на температурата и работното налягане. При превишаване на определени пределни параметри необходимата дебелина на стената на котела се оказва неприемливо голяма. Необходимо е да се отчетат и изискванията за безопасност.



Фиг. 7.1. Принципна схема на двуходов пламъчнотръбен котел.
а) с турбулизатор; б) без турбулизатор.

Основна отличителна характеристика на пламъчнотръбните котли е тяхната конструкция, която се явява определяща за специфичните им характеристики. Конструктивно пламъчнотръбните котли представляват цилиндричен съд, запълнен с вода, в който са разположени тръби, през които преминават димните газове, използвани за загряване на водата. Котлите могат да бъдат с хоризонтално или вертикално изпълнение.

От конструирането на първия пламъчнотръбен котел до днес конструкцията им претърпява значително развитие с оглед на повишаване на ефективността им. Първоначално широко разпространени са били пламъчнотръбните котли, включващи в конструкцията си две или три тръби с относително голям диаметър. В последствие по-широко приложение намира конструкция, в която димогарните тръби се комбинират в снопове. Причината тази конструкция да се наложи е постигането на по-голяма нагревна повърхност благодарение на по-голямото количество тръби, което подпомага топлообмена и повишава ефективността на котела. Най-широко разпространени понастоящем са пламъчнотръбните котли, включващи пламъчна тръба, в която протича горивният процес, и снопове от димогарни тръби, през които преминават димните газове. Това е конструкцията, която предлага постигането на оптимална нагревна повърхност.

Сред предимствата на пламъчнотръбните котли е факта, че в тях се съдържа голямо количество вода, което им позволява да отговарят на променящи се товари с минимални промени в налягането на парата. Пламъчнотръбните котли са много подходящи за отопление на помещения в различни индустриални предприятия. Те са компактни, лесни за почистване и поддръжка.

Експлоатационните разходи на тези котли са сравнително ниски. Предлагат се в широк диапазон от типоразмери.

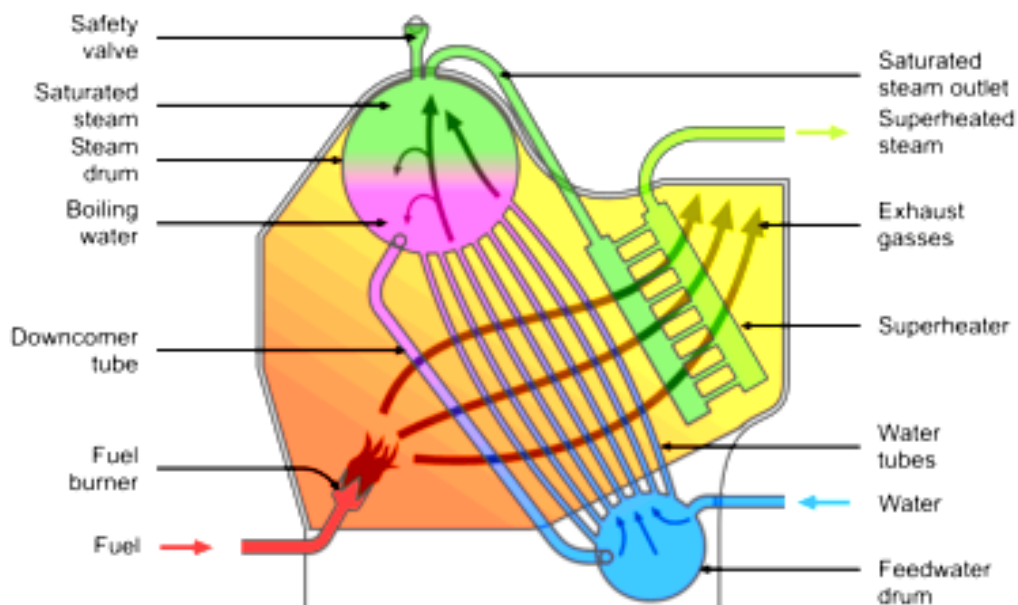
Недостатъците им са свързани с наличието на ограничения по отношение производството на пара с висок капацитет и факта, че използването на пламъчнотръбните котли не е препоръчително при високи налягания. По отношение на приложната им област е добре да се има предвид, че използването на тези котли е съпроводено с известни ограничения по отношение на топлинната мощност. Необходимо е също така да се вземат предвид и изискванията за безопасност.

7.1.2. Водотръбни котли

Водотръбните котли се отличават с по-сложна конструкция в сравнение с пламъчнотръбните модели. При тях нагръваната вода преминава през набор от тръби, разположени над горивната камера и свързани към общ барабан. Той представлява резервоар за пара и вода, който обикновено се изработва с неголям диаметър с цел избягване на проблемите, характерни за пламъчнотръбните котли.

За да се осигурят условия газът да отдаде максимално количество топлинна енергия, от вътрешната страна на котела се разполагат прегради. Те са предназначени да насочват движението на горещия газ така, че той да обтича тръбите няколко пъти. За да се повиши топлоотдаването в горивната камера в нея често се предвижда радиационен екран. По този начин се постига по-голямо топлоотдаване при по-малко топлинно натоварване на нейните стени. Това, от своя страна, води до намаляване на времето за техническо обслужване и до повишаване на КПД, както и до по-малки изисквания към топлоизолацията на стената. Радиационният екран представлява сноп от тръби, разположени по стената на горивната камера, през които преминава водата от котела, нагръва се и се изпарява. Образоващата се пара се отвежда в парния барабан. Добре е да се има предвид, че такива екрани обикновено защитават (напълно или частично) стените на котела. Тръбите могат да бъдат гладки, оребрени, с огнеупорно покритие и др.

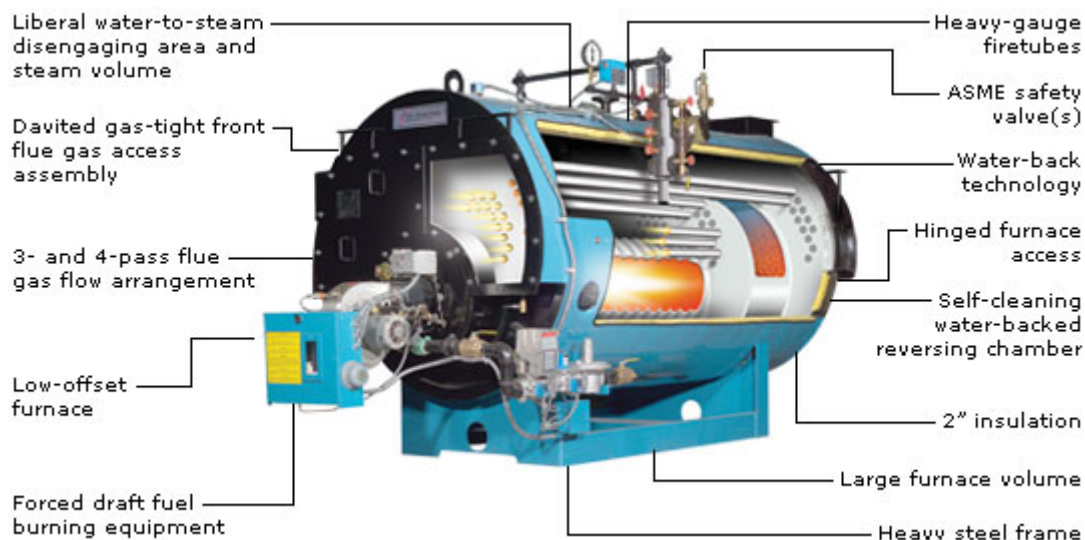
Основните предимства на парните котли са бързото повишаване на температурата, взривобезопасността, лесното пренастройване при изменение на натоварването и други. Недостатъците им са свързани с усложнената конструкция, високите изисквания по отношение на херметичността на съединенията, както и сложния ремонт.



Фиг. 7.2. Водотръбен котел

7.1.3. Окомплектовани котли

Терминът „окомплектован котел“ се появи в средата на 20-ти век вследствие на практиката за доставка на котлите на място, вече оборудвани с изолация, електрически табла, вентили и манометри. Това се различава от предишната практика, при която котлите се досавяха неокомплектовани. Окомплектовани котлите се наричат така, защото включват пълен пакет от необходимото за експлоатацията им оборудване. Окомплектованите котли са обикновено „пламъчно-тръбни“ от корпусен тип. Тези котли се делят на едно-, дву- и три ходови, в зависимост от това колко пъти димните газове преминават през пламъчните тръби, като за първи ход се счита преминаването през горивната камера. Най-често срещаният котел от този клас е триходовия, при който изгорелите газове излизат през задната част на котела.



Фиг. 7.3. Окомплектован котел

7.1.4. Котли с кипящ слой

Предимствата на изгаряне в „кипящ слой“ се изразяват в следното:

- Горенето се осъществява в слой с висок коефициент на топлопреминаване

в печната камера и относително ниски температури на горене;

- Гъвкавост на използваното гориво и намалени емисии на SO_x и NO_x;

• Горенето в кипящ слой е технически приложимо за индустриални и енергийни блокове и се очертава като перспективна технология за производство на електрическа енергия. Освен понижените емисии, ниските температури на горене позволяват изгарянето на силно замърсени и шлакуващи горива при температури, по-ниски от точката на топене на пепелта, което е сериозен проблем при котли с прахово горене.

- Технологията на изгаряне в кипящ слой позволява използването на горива

с много ниска топлина на горене. Това се дължи преди всичко на бързото загряване на горивните частици от голяма маса горящ материал в слоя и продължителното време на престой на въглищата в слоя. Тези две обстоятелства компенсират ефекта от ниската температура на горене.

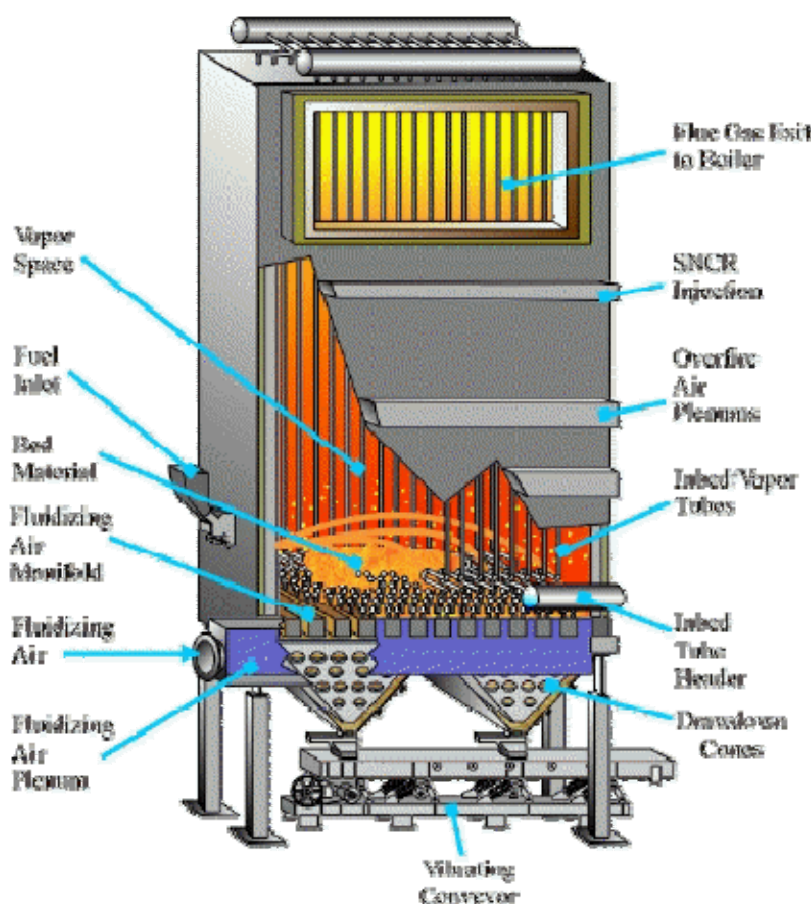
- Едрината на изгаряните частици гориво е от 3 до 30 mm;

• Горивото се подава в долната част на печната камера в зоната на слоя, който се характеризира с:

- плътност $\approx 720 \text{ kg/m}^3$ при барботиращия
- и плътност $\approx 560 \text{ kg/m}^3$ при циркулиращия кипящ слой;

• Частиците инертен материал се поддържат от движещия се във възхо-що направление газо-въздушен поток с температура $\approx 810 \div 870^\circ\text{C}$.

При подаване на горивото в слоя, последното бързо се подгрива до температурата му на възпламеняване, запалва се и става част от горящата маса. Разходът на въздуха и горивото към плътния слой се контролира по такъв начин, че да се осигурява желаното количество топлина в печта. Обикновено горивото изгаря при 20% излишък на въздух.



Фиг. 7.4. Котел с кипящ слой.

7.1.5. Замърсяване на нагревните повърхности на котлите

Парогенераторите представляват високотемпературни съоръжения, чието основно предназначение е да генерират наситена или прегрята пара. Прилагат се широко в редица отрасли на промишлеността, в които парата се използва в качеството на топлоносител или овлажнител. Най-често срещаните им приложения са в областта на енергетиката, химическата и хранително-вкусовата промишленост, селското стопанство, целулозно-хартиената индустрия и др.

Процесът на изгаряне на горивото в пещта протича с отделяне на димни газове с висока температура, които са продукт на горенето. Част от топлината, съдържаща се в тях, се отдава чрез излъчване на стените на пещната камера, които са покрити с тръби, образуващи повърхност, наречена *екранна* (нарича се още *радиационна нагревна повърхност*). Тръбите са нагривани отвън от продуктите на горенето и са охлаждадени (или умивани отвътре) от работното тяло (вода или пара).

Отдали част от топлината си, димните газове напускат пещта и преминават покрай снопове от тръби с различно предназначение. Процесът на топлопредаване е конвективен. Осъществява се чрез непосредствен допир на газовете до повърхността на тръбите. В случаите, при които топлинният поток на излъчване е съизмерим с конвективния поток, нагревната повърхност се нарича *полурадиационна*. Ако потокът на излъчване е пренебрежимо малък, предаването на топлина е чисто конвективно и нагревната повърхност се нарича *конвективна*.

Обикновено нагревната повърхност на тръбите, монтирани по стените на пещта, служи за изпаряване на водата. Тази тръбна система се обединява от барабан. Нивото на водата в него се поддържа постоянно до определена височина. По тръбите, поставени от външната страна на пещта, водата преминава към колектори (те се характеризират с по-голям диаметър). От тях са изведени *екранните тръби*, в които става изпарението. Получената пароводна смес постъпва в барабан, в горната част на който получената наситена пара се отделя (сепарира). Цялата система от барабан, външни тръби, колектори и тръби, в които става изпаряването, образуват изпарителната система. След пещта димните газове постъпват в тръбните снопове на паропрегревателя. В него се прегрява парата, получена в изпарителната система. След паропрегревателя газовете все още съдържат значително количество топлина. За да бъде използвана тя, газовете преминават през следващите нагревни повърхности - економайзер и въздухоподгревател.

В економайзера топлината се използва за подгриване на водата, с която непрекъснато се подхранва парогенераторът. В зависимост от температурата на водата на изхода му, економайзерите са *кипящи* и *некипящи*. В първия случай водата се подгрива до температура на насищане и част от нея се изпарява. В некипящите економайзери водата на изхода му се подгрива до температура, по-ниска от температурата на насищане за даденото налягане. След економайзера, независимо от вида му, водата постъпва в изпарителната система на котела.

Нагревната повърхност на котела се изразява в квадратни метри, като при това всяка метална част от парогенератора, която участва в топлообмена при получаване на парата, се счита за нагревна повърхност. Колкото по-голяма отоплителна повърхност има един котел, толкова по-голям ще бъде потенциалът му да генерира пара.

Преносът на топлина към котелната вода се пречатства от натрупването на сажди и пепел откъм газовата страна на нагревната повърхност и в по-малка степен откъм водната страна. Замърсените нагревни повърхности способстват за повишаване температурата на димните газове и увеличават загубата на топлина през комина. За да се поддържат топлообменните повърхности чисти от пепел, сажди и котлен камък, трябва да се уверим, че:

- двете страни на нагревните повърхности (откъм димните газове и откъм водата) се инспектират внимателно всеки път, когато инсталацията на котела е изключена;
- похранващата вода на котела се обработва механически и химически с цел намаляване на утайката и котления камък;
- използва се деаератор за отделяне на газовата фаза от водата;
- вентилаторите за сажди, четките или ръчните обдухвачи се използват, както се изисква.

7.2. Калоричност на горивата

Количеството топлина, което се отделя при пълното изгаряне на единица маса твърдо гориво (при нормални условия), се нарича *топлина на изгаряне* на

това гориво. Горната топлина на изгаряне на горивото (Q_s^r) включва и топлината, изразходвана за изпаряване на водата от горивото, и водата, получена от окислението на водорода при горивния процес. Тъй като изразходваната за изпаряване топлина не се оползотворява при работа на парогенераторите, топлинните пресмятания в тази област се извършват с долната стойност на топлината на изгаряне (Q_i^r). Връзката между Q_s^r и Q_i^r се определя от израза:

$$Q_s^r - Q_i^r = 25,14 \cdot (9H^r + W_i^r) \text{ kJ/kg}$$

Калоричността на въглищата варира значително в зависимост от пепелта, съдържанието на влага и вида на въглищата. В действителност въглищата се класифицират на класове по отношение на брутната им калоричност (горна топлина на изгаряне) и съдържание на пепел, съответно в зависимост от това варира и цената им.

Калоричността на течните горива е много по-последователна. Биогоривата имат различна калоричност в зависимост от елементарния им състав. Природният газ също има различна калоричност поради различния състав.

В таблиците по-долу са представени калоричностите и елементарния състав на горивата, които се използват в България.

Таблица 7.1. Калоричност на твърди български горива

Басейн	Топлина на изгаряне, Q_i^r , MJ/kg
Марица Изток	6,369
Марица Запад	9,352
Бобов Дол	14,168
Пернишки	11,115
Балкански	20,725
Елховски	6,763
Пернишки ($A^d > 50\%$)	7,081
Добруджански	15,695

Таблица 7.2. Калоричност на течни горива, доставяни в България

Течни горива	Топлина на изгаряне, kJ/kg	
	Q_s^r	Q_i^r
Етилалкохол	29890	26960
Бензол	41940	40230
Бензин	46700	42500
Керосин	42900	40800
Метанол	22310	19510
Нафта	44800	41650

Таблица 7.3. Калоричност и елементарен състав на мазут, доставян в България

Гориво	Състав на суха безпепелна маса, %					Пепел на суха маса, %	Влага на работна маса, %	Долна топл. на изг. на работна маса, kJ/kg
	Въглерод	Водород	Сяра	Кислород и азот	И			
	C^{daf}	H^{daf}	S^{daf}	$O^{daf} + N^{daf}$		A^d	W_t^r	Q_i^r
Мазут, нискосернист и сернист								
Марка 10	86,5	12,5	0,5	0,5	0,1	1,0	41 300	
Марка 20	87,2	12,5	0,6	0,5	0,15	2,0	40 400	
Марка 40	87,5	11,2	0,6	0,7	0,2	3,0	39 500	
Марка 80 и 100	87,8	10,7	0,7	0,8	0,3	4,0	38 700	
Мазут, високосернист								
Марка 10	85,0	11,8	2,5	0,7	0,15	1,0	40 300	
Марка 20	85,0	11,5	3,0	0,5	0,2	2,0	39 600	
Марка 40	85,3	11,0	3,2	0,5	0,3	3,0	38 900	

Таблица 7.4. Калоричност на газообразните горива, доставяни в България

Вид на газообразно гориво		Топлина на изгаряне на суха маса, Q_i^d
		kJ/m^3
Природен газ, внесен от Русия		38 180
Доменен газ (кокс)		4 040
Доменен газ (кокс с вдуване на прир. газ)		4 190
Коксов газ		16 500
Нефтозаводски газ	Атмосферна дестилация	79 170
	Каталитичен крекинг	41 880
	Термичен крекинг	41 870
	Каталитичен риформинг	41 660

Забележка: $1 \text{ kJ/kg} = 1 \text{ J/g} = 0.4299 \text{ Btu/lb}_m = 0.23884 \text{ kcal/kg}$

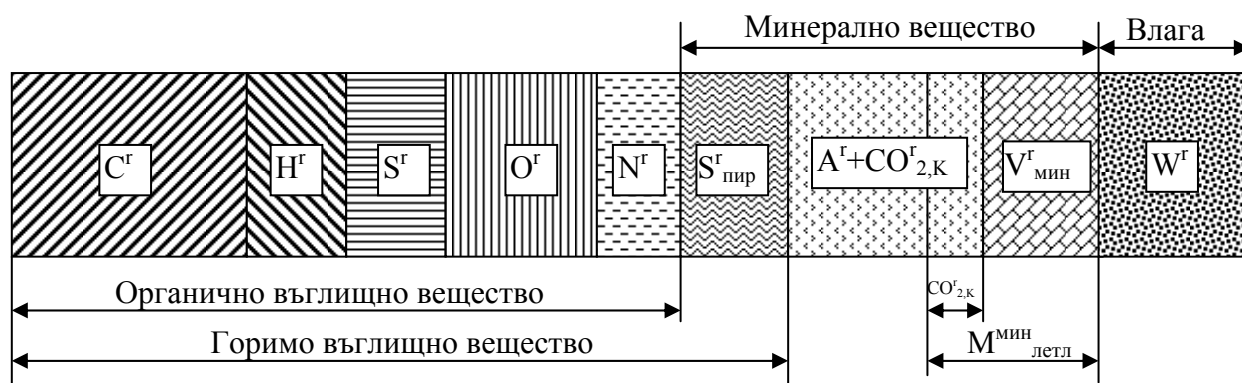
$1 \text{ Btu/lb}_m = 2.326 \text{ kJ/kg} = 0.55 \text{ kcal/kg}$

$1 \text{ kcal/kg} = 4.1868 \text{ kJ/kg} = 1.8 \text{ Btu/lb}_m$

$1 \text{ dm}^3 \text{ (Liter)} = 10^{-3} \text{ m}^3 = 0.03532 \text{ ft}^3 = 1.308 \times 10^{-3} \text{ yd}^3 = 0.220 \text{ Imp gal (UK)} = 0.2642 \text{ Gallons (US)}$

7.2.1. Параметри при изгарянето на въглища

Твърдите горива се разглеждат като твърд разтвор на органично вещество и минерална част (M), включващ и определено количество влага (W). Органичната част, от своя страна, съдържа следните основни елементи – въглерод (C), водород (H), органична сяра (S_{op}), кислород (O) и азот (N), образуващи помежду си сложни химични съединения. Процентното съдържание на петте основни химични елемента, формиращи горимата маса (съответно свойствата на тази маса), зависи от произхода на находището и от степента на неговата въглефикация.



Фиксиран въглерод

Фиксираният въглерод дава най-груба оценка за калоричността на въглищата. По-високото съдържание на въглерод означава по-голяма калоричност. С увеличаване на възрастта на находището се увеличава дяла на основния горим елемент *въглерода* (с $35\ 615 \text{ kJ}$ топлина, отделена от изгаряне на един килограм въглерод). Значително по-голямо е топлоотделянето при изгаряне на единица маса *водород* ($142\ 124 \text{ kJ/kg}$), но поради ниското му процентно съдържание в твърдите горива и поради разходване на част от тази топлина за изпарение на получената при окислението му вода, той се разглежда като втори по значимост горим елемент.

Летливи вещества

Летливи вещества се наричат газовете, получени от разпадането на термически неустойчивите органични съединения в горивото. Те се образуват и отделят при нагряване на въглищата без достъп на въздух. Остатъкът, главно от въглерод и пепел, се нарича *кокс*. Количеството на летливите вещества и видът на коксовия остатък са важни показатели при изследването на твърдите горива. Добивът на летливи вещества характеризира термичната устойчивост на горивото и предпоставките за запалване и samozапалване. Летливите вещества включват метан, въглеводороди, водород, въглероден оксид и негорими газове като

въглероден диоксид и азот от въглищата. По този начин летливите вещества са показател на присъстващите газообразни горива. Типичният дял на летливите вещества във въглищата е от 20 до 35%.

Наличието на летливи вещества:

- Пропорционално увеличава дължината на пламъка и помага за по-лесното запалване на въглищата;
- Задава минимални ограничения на височината и обема на пещта;
- Оказва влияние върху изискването за вторичен въздух и разпределителните аспекти.

Съдържание на пепел

Пепелта е неорганичен материал, който не гори. Типичният дял на пепелта при въглищата е от 0.5 до 40%, а присъствието на пепел има няколко вредни ефекта:

- Намалява капацитета за обработка и изгаряне.
- Увеличава разходите за обработка.
- Засяга температурата на пламъка, преноса на топлина, ефективността на горене и к.п.д. на котела.
- Причинява натрупването на шлака.
- Увеличава потреблението на допълнителна мощност.

Съдържание на влага

Наличието на влага намалява специфичната топлина на горене на въглища и обикновено варира от 0.5 до 10%. Наличието на влага в горивото увеличава загубата на топлина с изходящите газове, т. к. се изразходва топлина за изпарение и прегряване. Въпреки това малкото количество влага в горивото помага за свързване на фините прахови частици.

Съдържание на сяра:

Типичният дял на сярата при въглищата е от 0.5 to 5%. Нейният излишък засяга тенденцията за натрупване на шлака, спомага за корозия в стоманени комини и други съоръжения като въздухонагреватели и економайзери, ограничава температурата на изходящите димните газове поради киселинната точка на оросяване и съответно понижава к.п.д. на котела.

7.2.2. Какви параметри трябва да се подържат за гарантиране на добра ефективност при изгаряне на мазут

- Поддържане на вискозитет на мазута $24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (3,5°E) на горелка чрез правилна настройка на температурата на предварително загряване. Това може да стане чрез вградени ел. нагреватели в горелката.



- Осигурете смесване на въздуха при $1-3 \text{ kg/cm}^2$ (около 2% от общото изискване за въздуха) с помощта на въздушната клапа на горелката.



- Около 14 kg въздух/на kg течно гориво е необходимо за пълното изгаряне. Оптимален к.п.д. се получава при около 10% излишък на въздух.
- За контрол на излишъка на въздуха димните газове трябва да бъдат анализирани непрекъснато за съдържание на CO_2 или O_2 .
- Кондензация на сярно-киселите пари в димните газове започва при температури под 160°C , а нискотемпературната корозия се избягва чрез поддържане на температура в комина над 160°C .
- Налягането на мазута в дюзите на горелката за горелки със струя под налягане трябва да бъде $17-20 \text{ kg/cm}^2$.
- Най-малкото увреждане на дюзата на горелката може да увеличи разхода на гориво с 10-15%, следователно всички износени дюзи на горелки трябва да бъдат заменени веднага.
- Правилният пламък обикновено е къс. Попадането на пламък върху стените и тръбите трябва да се избягва, тъй като причинява отлагането на сажди.
- Твърде късият пламък означава голям излишък на въздух, а подаването на въздух към горелките трябва да бъде коригирано до получаването на светъл мъгливо-кафяв цвят в комина.

7.2.3. Газообразни горива

Пропан-бутан

Пропан-бутанът е смес от газове, предимно пропан и бутан с малък процент ненаситени въглеродородни вериги (пропилен и бутилен). Той е газообразен при нормално атмосферно налягане, но може да бъде сгъстен до течно състояние при нормална температура при прилагането на умерено налягане. Течният пропан-бутан се изпарява, за да увеличи около 250 пъти обема на газа. Неговите пари са по-плътни от въздуха.

Природен газ

Метанът е основната съставна част на природния газ, като възлиза на около 95% от общия обем. Други компоненти са етан, пропан, бутан, пентан и азот. Съдържанието на сяра е незначително. Природният газ е по-лек от въздуха и се разпръсква в него лесно.

Изгаряне на газообразно гориво

Изгарянето на газообразни горива е сходно с това на течните горива. В действителност най-голяма ефективност може да се постигне с газообразни горива, тъй като могат да се постигнат много добри условия за атомизация.

7.3. Загуби на топлина с изходящите димни газове

Известни са два метода за определяне на к.п.д на парогенератор - по *прав* и *обратен* топлинен баланс. За работещ парогенератор определянето на брутния коефициент на полезно действие не е трудно осъществимо, тъй като лесно могат да се измерят количествата и параметрите на произведената пара, на изразходвано гориво, както и да се определи калоричността на горивото. В този случай уравнението на правия топлинен баланс ни дава достатъчно точна информация.

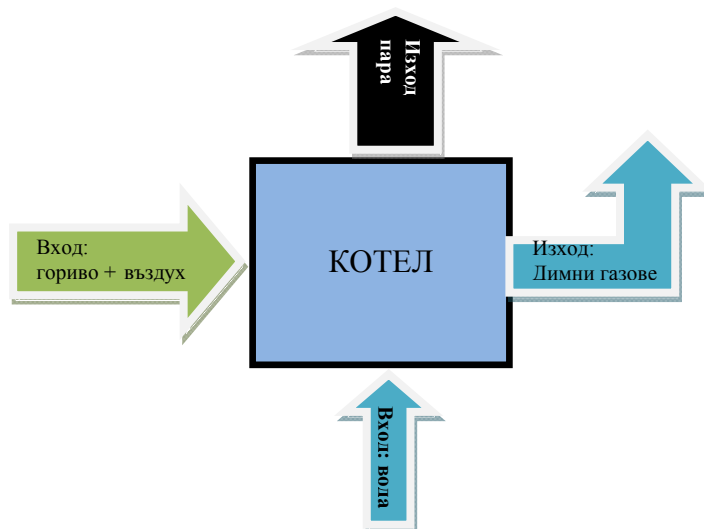
В основни линии к.п.д. на котлите може да се определи чрез следните методи:

- 1) Прав топлинен баланс - Когато печалбата от енергията на работния флуид (вода и пара) се сравнява с енергийното съдържание на котелното гориво.
- 2) Обратен топлинен баланс - Когато к.п.д. е разликата между загубите и вложената енергия.

7.3.1. Прав топлинен баланс

Този метод е известен още като „вход-изход” поради факта, че се нуждае само от полезната продукция (пара) и вложената топлина (т. е. гориво) за оценка на к.п.д. на котела. Този к.п.д. може да бъде оценен с помощта на формулата:

$$к. п. д. = \frac{\text{полезна топлина}}{\text{изразходвано гориво}}$$



$$\text{к. п. д.} = \frac{\text{топлината подведена към парата} \times 100}{\text{разход на гориво} \times \text{калоричност на горивото}}$$

$$\text{к. п. д.} = \frac{\text{разход на пара} \times (\text{енталпия на парата} - \text{енталпия на подхранващата вода})}{\text{разход на гориво} \times \text{калоричност на горивото}}$$

Формула за пресмятане на к.п.д. по Прав баланс:

$$V \cdot Q \cdot \eta = G \cdot (t_2 - t_1) \cdot C_p$$

$$\eta = G \cdot \frac{(t_2 - t_1) \cdot C_p}{V \cdot Q}$$

където: V - разход гориво, kg/h; Q - долна топлина на изгаряне, kJ/kg; η – КПД бруто; G - разход вода през котела, kg/h; t_2 - температура вода изход, °C; t_1 - температура вода вход, °C; C_p - специфичен топлинен капацитет, kJ/kg.K

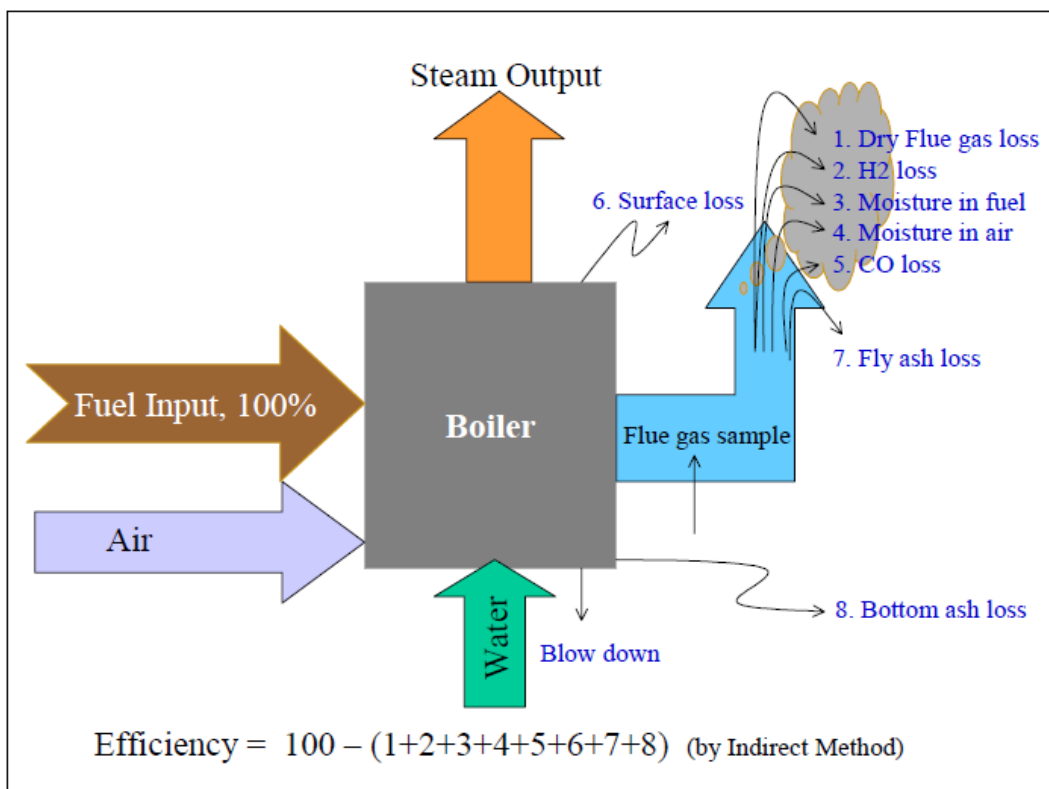
7.3.2. Обратен топлинен баланс

Коефициентът на полезно действие може да се изчисли лесно чрез измерване на всички загуби, възникнали в котлите и използване на принципите, които следва да бъдат описани. Недостатъците на правия баланс могат да бъдат преодоленни чрез метода на обратния баланс, при който се изчисляват различните топлинни загуби, свързани с котела. К.п.д. на котела може да се определи, като се извадят всички топлинни загуби от 100. Важно предимство на този метод е, че грешките в измерването не променят в значителна степен к.п.д.

Например ако к.п.д. на котлите е 90%, грешка от 1% в правия баланс ще доведе до значителна промяна в к.п.д., т.е. $90 + 0.9 = 89.1$ спрямо 90.9. При обратния баланс 1% грешка в измерването на загубите ще доведе до:

$$\text{К.п.д.} = 100 - (10 + 0.1) = 90 + 0.1 = 89.9 \text{ спрямо } 90.1\%$$

Различните топлинни загуби, които се случват в котела са, както следва:



При котли на течно, газообразно и твърдо гориво се наблюдават следните загуби:

- L1 – Загуба на топлина с изходящите димни газове (физическа топлина);
- L2 – Загуба на топлина от наличие на водород в горивото (H_2);
- L3 - Загуба на топлина от наличие на влага в горивото (H_2O)
- L4 - Загуба на топлина от наличие на влага във въздуха (H_2O)
- L5 - Загуба на топлина от химически непълно изгаряне на въглероден окис (CO)
- L6 – Загуба на топлина от повърхностно излъчване на котела, конвекция и други неотчетени*.

*Загуби, които са незначителни и са трудно измерими.

Следните загуби са приложими при котли на твърдо гориво в допълнение към по-горните:

- L7 – Загуба на топлина от механическо неизгорели частици летлива пепел, отнесени от газовете (C);
- L8 - Загуба на топлина от механическо неизгорели частици летлива пепел със сгурията (C).

К.п.д. на котлите по обратен баланс = $100 - (L1+L2+L3+L4+L5+L6+L7+L8)$

Обратният баланс за определяне на к.п.д. не отчита:

- Загубите при режим на готовност. Тестът за к.п.д. трябва да се извърши,

когато котелът работи с постоянен товар. По тази причина тестът за ефективността на горене не разкрива загубите при режим на готовност, които съществуват между интервалите на горене.

- Загуби на топлина с продухvatелната вода.
- Загуби от топлината на парата за обдухвачите на сажди. Количеството пара, използвано от обдухвачите за продухване на сажди, е променливо и зависи от вида на горивото.
- Консумация на енергия от спомагателното оборудване. Обратният баланс не отчита използването на енергия от спомагателни съоръжения като горелки, вентилатори и помпи.

7.4. Препоръки за подобряване на к.п.д. на котлите

Оптимизираният товаров график позволява производството на пара във всяко промишлено предприятие да бъде осъществено с минимален разход на гориво. Няколко правила трябва да се спазват при създаването на такъв график:

1. Котлите обикновено работят най-ефективно при 65-85% натоварване, а центробежните вентилатори - при 80-90% от номиналната им мощност. К.п.д. на различните видове оборудване спада при по-високи или по-ниски товари, като спадът е най-силно изразен при ниските товари.

2. Обикновено е по-ефективно е да работят по-малък брой котли, но при по-високи товари, отколкото по-голям брой котли при ниски товари.

3. Котлите трябва да бъдат пуснати в експлоатация в низходящ ред по отношение на тяхната ефективност, като се започне с най-ефективния.

4. По-новите котли и тези с по-високо паропроизводство обикновено са по-ефективни от по-старите котли с по-малка производителност.

5. Като цяло отклоненията в натоварването трябва да бъдат отчетени при най-малката и най-неефективна единица.

6. Създайте програма за ефективно обслужване на котлите. Започнете с енергиен одит и проследяване, след това направете програмата за ефективност на поддръжката на котлите част от Вашата постоянна програма за енергиен мениджмънт.

7. Използвайте честотно регулиране на въздушния вентилатор при големите котли с променлив товар. Подменете горелките с естествена тяга с такива с принудена.

8. Изолирайте резервоарите за гориво.

9. Почиствайте редовно горелките, дюзите и горивните филтри.

10. Проверявайте редовно мазутоподгревателите, за да осигурите подходяща температура на мазута.

11. Спрете достъпа на въздух през вентилаторите, когато горелката е изключена, за да минимизирате топлинните загуби през комина.

12. Въведете измерване на кислорода (ограничете излишъка на въздух до по-малък от 10% за чистите горива). Всяко 5%-но намаляване на излишъка на въздух увеличава к.п.д. на котлите с 1%; Всяко 1%-но намаляване на остатъчния кислород в изходящите газове увеличава к.п.д. на котлите с 1%.

13. Загрейте въздуха за горене с отпадъчната топлина от изходящите газове. Добавете економайзер за предварително затопляне на водата за захранване на котела, като използвате отпадъчната топлина. Всяко намаляване на температурата на димните газове с 22°C увеличава к.п.д. на котлите с 1%.

14. Автоматизирайте изпускането (периодично или постоянно) на продухvatелната вода. Оползотворете отпадъчната топлина от продухvatелната вода, като използвате топлината за подгръване на подхранвателната вода.

15. Оптимизирайте деаератора, за да сведете до минимум загубите на пара.

16. Проверете уплътненията на вратите на котела за избягване на течове.

17. Проверете за наличие на котлен камък от водна страна. Всяко наслояване с дебелина 1 мм на котлен камък води до увеличен разход на гориво с 5–8%.

18. Проверете нагревните повърхности за наслагвания от сажди, летлива пепел и шлага от газовата страна. Отлагането на сажди с дебелина 3 мм на топлообменната повърхност води до увеличаване разхода на гориво с 2.5%.

19. Оптимизирайте процеса на хим-водоочистка на котела.

20. Връщащият кондензат трябва да се оптимизира до максимална степен.

21. Проучете характеристиките при частично натоварване и експлоатационните разходи за поддръжка и обслужване на котела, за да определите най-добрата комбинация за работа на системата от котелни инсталации.

22. Обмислете използването на няколко малки локални котела (децентрализация), вместо един или два големи котела, за да избегнете ниска ефективност при ниски товари и загуби по топлопреносната мрежа.

Препоръки за оптимизиране работата на котлите:

Възможности за енергиен мениджмънт:

- Редовно проверявайте качеството на химически обработената водата.

- Работете при най-ниското налягане на парата (или температура на горещата вода), стига тези параметри да съответстват на изискванията на консуматора.

- Минимизирайте колебанията в товарите на котлите и направете товарови графици където е възможно, за да постигнете оптимален к.п.д. на котлите. Проверявайте редовно к.п.д. на котела.

- Наблюдавайте и сравнявайте редовно данните, свързани с изпълнението, за да стандартизирате работата на котела.

- Следете редовно за излишъка на въздух в котела и го сравнявайте с нормативните стойности. Инсталиране на горелки, работещи при минимално количество излишен въздух.

- Поддържайте горелките с правилна настройка.

- Заменете или поправете всяка липсваща или повредена изолация.

- Периодично калибрирайте измервателното оборудване и настройвайте системата за контрол на горенето.

Възможности за енергиен мениджмънт (EMOs) с ниска цена:

- Инсталирайте измервателно оборудване.
- Преместете смукателната част на въздушния вентилатор.
- Монтирайте изолация на котела и горещите тръбопроводи. В Табл. 7.5 са показани топлинните загуби, които се реализират при неизолирани повърхности с температури над тези на околната среда [8].

Табл. 7.5. Топлинни загуби при различни температурни разлики

Разлика в температурата на околната среда и горещата повърхност, °C	Топлинни загуби, kcal/m ² /h
50	500
100	1 350
200	3 790
400	13 640

- Намалете излишъка на въздух в котела.

Възможности за енергиен мениджмънт (EMOs) чрез модернизация:

- Инсталирайте економайзер.
- Инсталирайте кондензационен економайзер за утилизация на топлината на димните газове.
- Инсталирайте въздухонагревател за подгряване на въздуха за горене.
- Включете термopомпа
- Инсталирайте нов котел.
- Подменете горелката с нова.
- Инсталирайте турбулизатор в пламъчната тръба на котела.
- Преминете от мазут на газ (това е по-скоро финансова икономия, отколкото пестене на енергия).
- Инсталирайте горелка с електрически нагревател (за мазутни горелки).

7.4.1. Ориентиrowъчен работен лист за оценка на котелна система

Пример: Изчисляване на к.п.д. на мазутен котел:

Изчислете к.п.д. на котела от следните данни:

Краен анализ (%):

Въглерод	= 84
Водород	= 12
Азот	= 0.5
Кислород	= 1.5
Сяра	= 1.5

Влага	= 0.5
Горна топлина на горене на горивото	= 10,000 kcal/kg
Разход на гориво	= 2,648.125 kg/h
Температура на повърхността на котела	= 80°C
Площ на котела	= 90 m ²
Влажност на въздуха	= 0.025 kg/(kg сух въздух)
Скорост на вятъра	= 3.8 m/s

Анализ на димните газове (%):

Температура на димните газове	= 190°C
Температура на околната среда	= 30°C
Обем на CO ₂ % в димните газове	= 10.8
Обем на O ₂ % в димните газове	= 7.4

a) *Теоретично необходим въздух* = [(11.6 x C) + {(34.8 x (H₂ - O₂/8)) + (4.35 x S)}] / 100 kg/kg гориво [от анализа на горивото] = [(11.6 x 84) + {(34.8 x (12 - 1.5/8)) + (4.35 x 1.5)}] / 100 = **13.92 kg/(kg гориво)**.

b) *Коефициент на излишък на въздух (EA)* = $\frac{O_2\%}{21-O_2\%} \times 100$ [от анализа на димните газове] = $\frac{7.4}{21-7.4} \times 100 = \mathbf{54.4\%}$.

c) *Действително маса на въздуха за горене / kg* = {1 + EA/100} x теоретичен въздух на горивото (AAS) = {1 + 54.4/100} x 13.92 = **21.49 kg/kg гориво**.

d) *Маса на сухи димни газове* = Маса от (CO₂ + SO₂ + N₂ + O₂) в димните газове + N₂ във въздуха, който се доставя =

$$\frac{0.84 \times 44}{12} + \frac{0.015 \times 64}{32} + 0.005 + \frac{7.4 \times 23}{100} + \frac{21.49 \times 77}{100} = \mathbf{21.36 \text{ kg/(kg гориво)}}$$

Топлинни загуби в сухите димни газове (%):

$$L_1 = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{G \times C \times V_{\text{fuel}}} \times 100 = \frac{21.36 \times 0.23 \times (190 - 30)}{10,000} \times 100 = \mathbf{7.86\%}$$

Топлинни загуби поради изпаряване на вода от H₂ в горивото (%):

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times \{584 + C_p \times (T_f - T_a)\}}{G \times C \times V_{\text{fuel}}} \times 100 = \frac{9 \times 0.12 \times \{584 + 0.45 \times (190 - 30)\}}{10,000} \times 100 = \mathbf{7.08\%}$$

Топлинни загуби от влагата в горивото (%):

$$L_3 = \frac{M \times \{584 + C_p \times (T_f - T_a)\}}{G \times C \times V_{\text{fuel}}} \times 100 = \frac{0.005 \times \{584 + 0.45 \times (190 - 30)\}}{10,000} \times 100 = \mathbf{0.033\%}$$

Топлинни загуби от влагата във въздуха (%):

$$L_4 = \frac{AASxhumidityfactorxC_p x(T_f - T_a)}{GxCxV_{fuel}} \times 100 = \frac{21.36 \times 0.025 \times 0.45 \times (190 - 30)}{10,000} \times 100 = \mathbf{0.38\%}$$

Радиационна и конвекционна загуба (%) = $0.548 \times [(T_s/55.55)^4 - (T_a/55.55)^4] + 1.957 \times (T_s - T_a)^{1.25} \times [(196.85 V_m + 68.9) / 68.9] = 0.548 \times [(353/55.55)^4 - (303/55.55)^4] + 1.957 \times (353 - 303)^{1.25} \times [(196.85 \times 3.8 + 68.9)/68.9] = 1,303 \text{ W/m}^2 = 1,303 \times 0.86 = 1,120.58 \text{ kCal/m}^2$

Общи загуби от радиационна и конвекционна загуба на час = $1,120.58 \times 90 \text{ m}^2$

Радиационна и конвекционна загуба,% = $\frac{100,852.2}{10,000 \times 2,648.125} \times 100$

$L_6 = \mathbf{0.38\%}$, обикновено се приема като 0.5 до 1 % за улеснение.

К.п.д. на котлите по непрекия метод = $100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L6) = 100 - (7.86 + 7.08 + 0.033 + 0.38 + 0.38) = 100 - 15.73 = \mathbf{84.27\%}$

Таблица 7.5. Разюме на топлинния баланс за котел, използващ пещно гориво

Входни/изходни параметри	Kcal/(kg гориво)	% загуби
Вход в котела	10 000	100
Загуби в котела:		
Загуба на топлина с изходящите димни газове (физическа топлина) L1	786	7.86
Загуба на топлина от наличие на водород в горивото (H ₂) L2	708	7.08
Загуба на топлина от наличие на влага в горивото (H ₂ O) L3	3.3	0.033
Загуба на топлина от наличие на влага във въздуха (H ₂ O) L4	38	0.38
Загуба на топлина от химически непълно изгаряне на въглероден окис (CO) L5	0	0
Загуба на топлина от повърхностно излъчване на котела L6	38	0.38
К.п.д. на котела	К.П.Д.=100-(L1+L2+L3+L4+L5+L6)=84.27%	

Пример: Изчисляване на количеството на продухvatелната вода:

Продуването на котлите е рутинна операция, чиято цел е да предпази награвните повърхнини на котела от натруване на вредния котлен камък.

Количеството на продухvatелната вода зависи от:

Консумацията на пара (пара която се използва за процеси и не се връща като кондензат в системата);

- Концентрацията на замърсители в подхранващата вода;
- Максимално-допустимата концентрация на разтворени частици в котела.

Разходът на продухvatелната вода може да се изчисли по следната формула:

$$q_{BD} = q_S f_c / (b_c - f_c) \quad (1)$$

където: q_{BD} = разход на продухvatелната вода, kg/h; q_S = паропроизводство, kg/h; f_c = концентрация на замърсители в подхранващата вода, ppm; b_c = максимално-допустима концентрация на замърсители в подхранващата вода, ppm;

Пример: Парогенератор ПКМ-12 произвежда 12 t/h наситена пара при 10 bar налягане. Да се изчисли дебита на продухvatелната вода при следните условия: максимално-допустимата концентрация на замърсители в подхранващата вода е 2500 ppm, а концентрация на замърсители в подхранващата вода в котела е 250 ppm.

Решение:

$$\text{Дебитът на продухvatелна вода} = \frac{250 * 10000}{2500 - 250} = 1111 \text{ kg/h}$$

Оттук лесно може да се оцени спестената енергия при оползотворяване топлината от продувката:

$$Q = 1111/3600 * (h'' - h') * \tau = 1111/3600 * (400 - 64) * 6000 = 622160 \text{ kWh/yr}$$

7.5. Парокондензни системи

Кондензни гърнета

Кондензатоотделителите с инверсно бутало са патентовани през 1911 год. от ARMSTRONG (USA). Високата ефективност и надеждност са способствали за широкото им приложение в парните системи. Днес около 80% от инсталираните кондензатоотделители в България са с инверсно бутало (ARMSTRONG). Принципът на действие е базиран на разликата в плътностите на парата и водата. Парата, постъпваща в инверсното потопено бутало, го принуждава да изплува и затвори дюзата, през която се отстранява кондензатът. Постъпващият кондензат превръща буталото в тежест, която потъва и отваря клапана. За разлика от другите кондензатоотдели, тук въздухът и въглеродният двуокис се освобождават непрекъснато при температура на насищане.

Предимства на инверсното бутало:

- устойчивост на замърсявания. Дюзата за отделяне на кондензата се намира в горната част. Така постъпващите замърсявания не могат да попречат на плътното затваряне на клапана.

- ниски загуби на пара – 0.25% (за термодинамичните кондензатоотделители конструктивните загуби са 5%, като през време на експлоатацията се увеличават).

- устойчивост на хидравлични удари, причинени от неправилно дрениране на паропроводните мрежи. Тези кондензатоотделители не съдържат затворени елементи (поплавък, силфонна мембрана и др.), които да се деформират при хидравличен удар.

- дълъг експлоатационен живот. Има само 2 движещи се части – буталото и лостовият механизъм за клапана. Клапанът и дюзата за закалени по технология, която запазва взаимното им напасване при износване.

Освен кондензни гърнета с инверсно бутало ARMSTRONG предлага и термостатични, биметални, радиаторни и дискови кондензни гърнета.



Фиг. 7.5. Кондензни гърнета

Помпено-кондензни станции

Целта на помпено-кондензните станции е да върнат кондеза отново котела за пара.

Предимствата им пред електрическите помпи са:

- Няма риск от кавитация. Това означава, че няма нужда да се създаде минимално NPSH (минимална височина между резервоара и помпата, за да се избегне кавитацията, обикновено между 1500 и 3000 мм). За РТ-406 препоръчаната дистанция е 300 мм, тоест помпата може да бъде поставена под топлообменника, ако той се намира 1 метър под пода.

- Помпата може да работи в “затворена система” - обезвъздушителната линия на помпата се свързва с топлообменника. Така се избягва създаването на вторична пара и се използва енергията на управляващата пара. Икономията на енергия спрямо една “отворена система” е очевидна.

- Не винаги има нужда от резервоар. Електрическите помпи работят непрекъснато и се нуждаят от непрекъснат кондензен дебит, затова се поставя резервоар, в който се събира кондензата. Помпата се спира и пуска според нивото на кондензата в резервоара. За механичните помпи събирането на кондензата е необходимо само за тази част от цикъла, когато парата изтласква кондензата (нормално максимум 10 секунди). За дебит на кондензата от 1500

кг/час ще се съберат 4 - 5 кг. кондензат, преди помпата да се отвори. Ако обемът на тръбите между топлообменника и помпата е достатъчен, тогава няма да има нужда от резервоар.

- Повечето електрически помпи са направени за изпомпване на вода с максимална температура 70 - 80°C. Охлаждането на кондензата до тази температура води до загубата на енергия и увеличава количеството на въглеродна киселина (H_2CO_3) в кондензата (повече корозия).

Почти половината от енергията, използвана от промишлеността, отива за производството на технологична пара - приблизително същия общ разход на енергия като този, който се изисква, за да затоплят всички домове и търговски сгради. Водната пара е едно от най-обилните, най-малко скъпите и най-ефективните средства за пренос на топлина, което може да се получи.

Системата за разпределение на парата и връщащия кондензат трябва да достави ефективно пара от котелната централа към отоплителните системи и обработващото оборудване и да върне кондензата към котела за повторна употреба. Част от енергията винаги се губи от парокондензната система, най-значителни са загубите на кондензните гърнета. Други загуби включват тези на топлина от тръби и инсталации (изолирани и неизолирани), течове и загуби с вторичното изпарение на парата, кондензна загуба към отводнителната тръба и общи загуби на системата.

Този раздел е предназначен да ви помогне да откриете и коригирате източниците на загуба на енергия.

Парата се използва за генериране на енергия, както и за приложения в процеса на загряване в индустрии като производство на захар, хартия, тор, нефтопродукти, химикали, храни, синтетични влакна, текстил, при нефтените рафинерии и др. Следните характеристики на парата я правят толкова популярна и полезна за индустрията:

- Най-висока специфична топлина и латентна/скрита топлина;
- Висок коефициент на топлопредаване;
- Лесна за контрол и разпределение;
- Евтина и инертна.

Водата се намира навсякъде и изисква сравнително малка модификация от сурово състояние, за да стане директно използвана при технологичното оборудване. По време на кипене и кондензация, ако налягането е постоянно, а водата и парата са налице, температурата също остава постоянна. Освен това температурата еднозначно се определя от налягането, а оттам чрез поддържане на постоянно налягане, който е сравнително лесен за контрол параметър, може да се поддържа отличен контрол на температурата на процеса. Превръщането на дадена течност в пари поглъща големи количества топлина във всеки литър вода. Получената пара е лесна за транспортиране и тъй като е доста енергоемка, относително малки количества от нея могат да пренасят големи количества топлина. Това означава, че могат да се използват относително нескъпи помпи и тръбопроводи в сравнение с тези, необходими при други средства за отопление.

Може да се получат високи нива на пренос на топлина с относително малко по размер оборудване, като се спестяват и пространство, и капитал. Поради тези причини парата се използва широко като средство за отопление в индустрията.

7.5.1. Важни свойства на парата

а) Енталпия на течността (известна още и като “осезаема топлина”):

Когато водата първоначално се нагрява от начална температура до точката на изпарение (с промяна на температурата), енталпията на течността (h_f) е топлинната енергия, погълната от водата, обикновено се измерва в kCal/kg (или в kJ/kg).

б) Енталпия на изпарение (известна също като “скрита топлина”):

След като водата достигне точката на изпарение, енталпия на изпаряване (h_{fg}) е допълнителната топлинна енергия, която трябва да се добави към тази гореща вода, за да я превърне в пара. Тук няма промяна в температурата при изпаряване, откъдето идва и името „скрита топлина”

в) Температура на насищане:

Това е температурата, при която водата завира (известна също като “точка на кипене”). Тази стойност зависи от налягането на парата и се увеличава заедно с увеличаването на налягането на парата. Тъй като налягането на парата се увеличава, полезната скрита топлинна енергия в парата (енталпия на изпаряването) всъщност намалява.

Общото количество топлинна енергия от суха наситена пара или енталпия на наситена пара се получава от сумата на тези два вида енталпия ($h_f + h_{fg}$). Ако добавената топлинна енергия е по-малко от необходимата скрита топлина, се произвежда *влажна пара*, която съдържа частично вода и общото количество топлина, пренасяно от тази влажна пара, ще бъде по-малко от това на сухата наситена пара. Вредно е да се използва влажна пара за технологични процеси и за пароразпределение. *Специфичното паросъдържание x (степен на сухост)* е параметърът, който ни показва колко суха е парата.

Ако наситената пара се нагрее допълнително до още по-висока температура, тя започва да се държи като горещ газ и тази пара се нарича *прегрята*. Прегряването е добавянето на топлина към сухата наситена пара без увеличаване на налягането. Температурата на прегрятата пара, изразена като градуси над насищането, съответстващи на налягането, е известна като *степен на прегриване*.

Многото предимства на парата са отразени в значителното количество енергия, което индустрията изразходва, за да я произвежда. Например през 1994 година индустрията в ЕС-15 използва около 5,988 PJ енергия за производство на пара, което представлява около 34% от общата енергия, използвана в индустриалните приложения за производство. Някои примери за енергията, използвана за производството на пара в различните индустрии, е показана на Таблица 7.6.

Таблица 7.6. Използване на пара в някои индустрии.

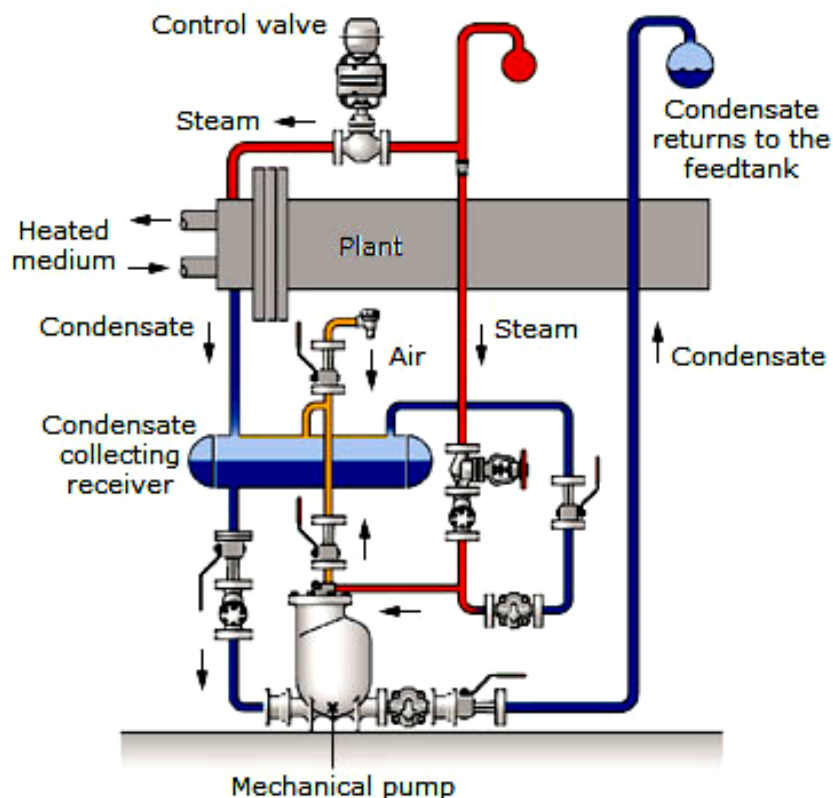
Индустрия	Енергия за производство на пара, PJ	Процент от общата енергия, използвана в тази индустрия
Целулозно-хартиена	2,318	83%
Химическа	1,957	57%
Рафиниране на петрол	1,449	42%

7.5.2. Компоненти на парокондензните системи

Индустриалните парни системи могат да включват компоненти за производство, разпределение, крайна употреба и повторно оползотворяване на парата, както е показано на Фигура 7.6. Оборудването за крайна употреба включва топлообменници, турбини, ректификационни колони, изпарителни секции и съдове за химични реакции. Парните системи могат да се прилагат още при паропрегреватели, въздухонагреватели, економайзери за захранващата вода и топлообменници за използване на топлина от продуктите на сепараторния съд, за да се повиши ефективността на системата.

Котелът (или парогенераторът) произвежда пара при най-високо налягане (и следователно при най-високата температура), изисквани от различните процеси. Тази пара се пренася от котелното помещение по големи паропроводи до мястото на работното оборудване. Тук пароразпределителни мрежи разпределят парата към всяка част от оборудването. Ако някои процеси изискват по-ниски температури, парата може да се подава при по-ниско налягане чрез дросел за регулиране на налягането или чрез турбина за обратно налягане.

Кондензните гърнета, разположени по линията на оборудването, позволяват на кондензата да се оттича обратно по възвръщателен тръбопровод и да се влива в кондензния резервоар. Кондензните гърнета изпълняват и други функции като изпускане на въздуха от системата при стартирането, което се обсъжда по-подробно по-късно.



Фиг. 7.6. Компоненти на парокондензните системи.

Системата, показана на Фигура 7.6, разбира се, е силно идеализирана. В допълнение към показаните компоненти могат да се използват и други елементи като филтри, възвратни клапани и клапани за изпомпване. В някои инсталации кондензатът може просто да се пусне в канала и да не се върне.

7.5.3. Кондензни гърнета и тяхното приложение

Кондензните гърнета са важни елементи на парокондензните системи и могат да представляват голяма възможност за енергоспестяване (или проблем, в зависимост от случая). Основната функция на кондензното гърне е да позволи на кондензата, получен при поцеса на нагряване да бъде източен от оборудването. Това трябва да се направи бързо, за да предотврати резервен запас на кондензат в системата. Неефективното отстраняване на кондензата произвежда две нежелани реакции.

Първо, ако се допусне кондензатът да се натрупва в парната камера, той се охлажда при по-ниска температура от тази на парата, защото отдава енталпията на течността на процеса и намалява ефективния потенциал за пренос на топлина. Тъй като кондензацията на пара е много по-ефективно средство за пренос на топлина от неподвижната течност, областта за кондензиране е намалена, а ефективността на процеса на пренос на топлина е влошен. Това води до по-дълго време на производствените цикли или до по-ниска производителност на непрекъснатите отоплителни процеси. И в двата случая неефективното отстраняване на кондензата почти винаги увеличава количеството енергия, необходимо за процеса.

Втора причина за необходимостта от ефикасно отстраняване на кондензат е избягването на „хидравличен удар“ в парните системи. Това явление се случва когато „тапа“ от течност заседне между парни пакети в паропровода. Пáрата, която има много по-голям специфичен обем, може да ускори тези „водни тапи“ до висока скорост и когато те срещнат по пътя си преграда като клапа или коляно (фитинги), това води до удар, не по-различен от удряне на елемента с чук (оттам идва и името на термина). Хидравличният удар може да бъде изключително вреден за оборудването и за да се избегне е необходимо правилно проектиране на клапанните системи.

Втората важна функция на кондензното гърне е да улесни отстраняването на въздуха от парното пространство. Въздухът може да проникне в парната система докато е спряна и определено количество газ винаги се освобождава от водата при процеса на кипене, като се пренася чрез парните линии. Въздух, смесен със пáра, заема част от обема, който иначе би се запълнил от самата пáра. Всеки от тези компоненти, въздух и пáра, допринася своя дял за общото налягане, упражнявано в системата. Основен принцип на термодинамиката е, че в смес от газове всеки компонент допринася за налягането в същото съотношение, като дела на обема му в пространството (*парциално налягане, Закон на Далтон*). В действителност върху реалната отоплителна повърхност, когато въздухът и пáрата се движат в непосредствена близост до нея, пáрата се кондензира в течност, докато въздухът остава отзад под формата на пáри. Следователно в областта, която е много близо до повърхността, въздухът заема дори по-голяма част от обема, отколкото в парното пространство като цяло, действайки ефективно като изолираща обвивка на повърхността. Достатъчно е да се каже, че въздухът е нежелан паразит в парните системи и неговото отстраняване е важно за правилното функциониране.

Кислородът и въглеродният диоксид имат друго отрицателно въздействие и това е корозията в кондензните и парните линии. Кислородът в кондензата води до вдлъбнатини или ръждясване на повърхността и може да замърси водата, което не е желателно при хранването на котлите, а CO_2 в разтвор с вода образува въглеродна киселина, която е силно корозивна за метални повърхности. Тези компоненти трябва да бъдат отстранени от системата частично с добра работа на кондензните гърнета и частично чрез правилно обезвъздушаване на кондензата.

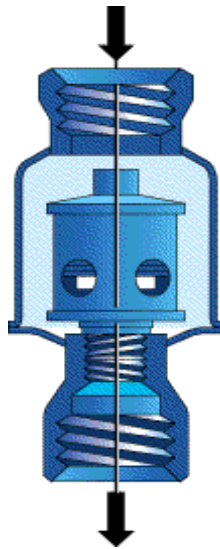
На пазара са налични различни видове кондензни гърнета и изборът на най-добро гърне за дадено приложение е важен. Много производители произвеждат няколко вида гърнета със специфични приложения и представителите на производителите трябва да бъдат консултирани при правенето на избор.

Кондензните гърнета могат най-общо да бъдат класифицирани в три групи: *механични гърнета*, които работят на базата на разликата в плътността между кондензата и пáрата или въздуха, Фиг. 7.7; *термостатни гърнета*, които използват разликата в температурата между пáрата, която остава близо до температурата на насищане, и кондензата, който се охлажда бързо, Фиг. 7.8 и

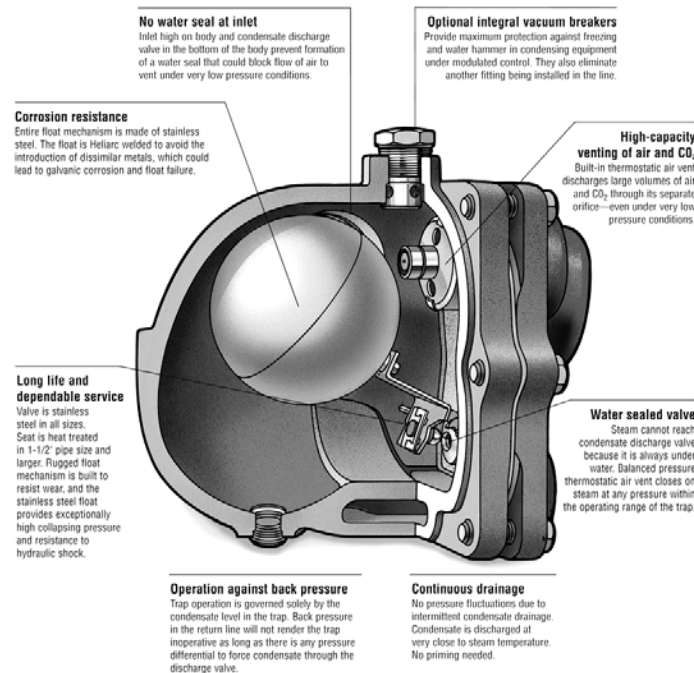
Фиг. 7.9; *термодинамично гърне*, което функционира на базата на разликата във флуидните свойства между течностите и парите, Фиг. 7.10.



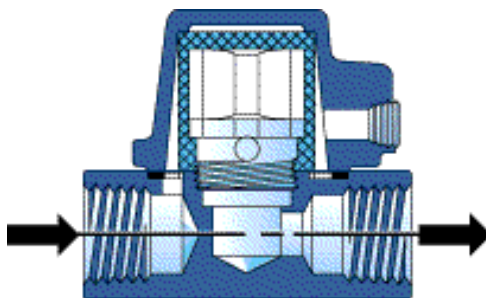
Фигура 7.7. *Механично кондензно гърне, известно още като “плаващ капан” или “бутален капан”*



Фигура 7.8. *Термостатно кондензно гърне.*



Фигура 7.9. *Механично и термостатно кондензно гърне.*



Фигура 7.10. Термодинамично (дисково) кондензно гърне.

7.5.4. Възможности за енергоспестяване в парните системи

Повишаването на ефективността на парните системи в цялата индустрия може да намали годишните разходи на инсталациите за енергия с милиони евро и емисиите в околната среда с милиони метрични тона. Около 80% от енергията, използвана в целулозно-хартиената промишленост, отива за производството на пара, а парните системи консумират около половината от енергията, използвана в химическата промишленост и при рафинирането на петрол. Обикновено оценките на инсталациите в тези и други подобни индустрии разкриват потенциално използване на енергията в парните системи и спестяване на разходи, които варират между 10% и 15% годишно.

Много възможности за енергоспестяване съществуват при експлоатацията на парната система, вариращи от прости модификации на работната процедура до големи модернизации, изискващи значителни капиталови разходи [9]. Таблица 7.7 показва списък за проверка на възможностите за енергоспестяване, приложими за повечето парни системи. Полезно е за мениджърите, отговорни за енергоспестяването, да поддържат такъв работен списък, приложим към собствените им ситуации. Често се представят идеи в техническата и търговската литература и операторите на инсталации често дават ценен принос, тъй като все пак те са хората, стоящи най-близо до проблема.

Таблица 7.7. Списък за проверка на възможностите за енергоспестяване в парокондензните системи

<u>Общи операции</u>
1. Преразгледайте работата на дългите парни линии и малките приложения за единични услуги. Помислете за преместване или преобразуване на отдалеченото оборудване като цистерни за съхраняване, отоплявани чрез пара.
2. Преразгледайте работата на парните системи, използвани само за извънредни услуги като линии за парно отопление, използвани само през зимата. Помислете за използването на автоматично управление като клапи за контролиране на температурата, за да се уверите, че системите се използват само когато е необходимо.
3. Приложете постоянна програма за изследване и ремонт на изтичането на пара.
4. Разгласявайте сред операторите и служителите за поддръжка на инсталацията годишните разходи от изтичането на парата и ненужната работа на оборудването.
5. Въведете редовна програма за мониторинг на разхода на пара, нормализиран

към темпа на производство, за да проследявате резултатите от намаляването на консумацията на пара. Разгласявайте всеки месец резултатите от тази дейност.

6. Помислете за преразглеждане на парния баланс на системите с различно налягане в рамките на цялото съоръжение, за да се премахне изпускането на пара с ниско налягане. Например осигурете алтернативно електрическо захранване за помпите или компресорите, които за момента се задвижват чрез пара, за да позволите изключване на турбините, когато има излишък от пара с ниско налягане.

7. Проверете действителното използване на парата в различните операции спрямо теоретичните или проектни изисквания. Когато съществуват значителни различия, определете причината и я коригирайте.

8. Прегледайте изискванията за нивата на налягането на механичното оборудване, задвижвано от парата, за да оцените осъществимостта на използването на ниски нива на налягане.

9. Прегледайте изискванията за температурата на затоплените съдове за съхранение и намалете до минималните приемливи температури.

10. Оценете производствения график на производствените операции и ако е възможно ги оптимизирайте, за да сведете до минимум пусканията и спиранията.

Работа на кондензните гърнета

1. Проверете оразмеряването на всички кондензни гърнета, за да се уверите, че са подходящо избрани, и осигурете правилно оттичане на кондензата. Прегледайте видовете гърнета за различните услуги, за да се уверите, че за всяко приложение се ползва най-ефективното гърне.

2. Приложете редовна програма за инспекция и поддръжка на кондензните гърнета. Обучете персонала по поддръжката в областта на техниките за диагностициране на повреда в гърнетата.

Регенериране на кондензата

1. Проучете източниците на кондензат, които в момента изпускат към канализацията, за осъществимост на регенериране на кондензата.

2. Помислете за възможности за използване на отпадна (вторична) пара при процесите с ниска температура, които в момента използват остра пара (с високо налягане).

Турбини с механичен диск

1. Прегледайте турбините с механично задвижване в режим на готовност, които в момента са оставени в режим на празен ход, и разгледайте възможността да изключите турбините в режим на готовност.

2. Въведете програма за тестване на работата на парните турбини и почиствайте редовно турбините, за да постигнете максимална ефективност.

3. Оценете потенциала за комбинирано производство на енергия (когенерация) в парните системи с различно налягане, които в момента използват клапи за намаляване на голямото налягане.

Изолация

1. Измерете повърхностните температури с помощта на инфрачервена

термометрия или термография на изолираното оборудване и тръбопроводите, за да намерите области на влошаване на изолацията. Редовно поддържайте изолацията.

2. Оценете ефекта от изолация на всички неизолирани до момента линии и елементи, които преди това са били считани за неикономични. Увеличените енергийни разходи правят желателни изолациите на клапи, фланци и малки линии в много случаи, в които това е било непривлекателно преди това.

3. Проучете икономии от монтиране на допълнителна изолация на линиите, които се изолират в момента и осъвременете изолацията, ако това е икономически изгодно.

7.5.5. Ориентиrowъчен работен лист за оценка на парокондензните системи

Излишни тръбопроводи

Изследвайте актуализираните чертежи на тръбопроводите в завода, ако са налични, или се разходете из съоръжението и потърсете възможности да рационализирате парокондензната мрежа.

Намерихте ли неизползвани и излишни тръбопроводи?

- Да Първо се уверете, че тръбите могат да бъдат изолирани от останалата част на системата. След това планирайте премахването на частите, които вече не са необходими.
- Не Не се изисква действие.

Дали парокондензната мрежа е оптимизирана по отношение на местоположението на оборудването, което използва пара?

- Да Не се изисква действие.
- Не Нека квалифициран изпълнител проектира отново парокондензната мрежа, за да я оптимизира. Ако е необходимо, помислете за локализиране на производството/доставката на парата близо до оборудването, което използва пара.

Парни течове

Разходете се из съоръжението с подходящо оборудване за откриване на течове (например ултразвуков детектор, пирометър, стетоскоп), гледайте и се ослушвайте за парни течове.

Открихте ли течове?

- Да Оценете загубите на пара от течове. Организирайте ремонта на всички течове при първа възможност.
- Не Проверявайте всеки месец, за да поддържате стандарт.

Можете ли да кажете дали някъде се изпуска пара от кондензните гърнети и клапи?

- Да Ако се изпуска пара, ремонтирайте течовете възможно най-скоро.

- Не Уверете се в правилното функциониране чрез квалифициран изпълнител или представител на производителя на Вашите кондензни гърнета и клапи. Проверете системата с ултразвуков детектор на течове. Ако никъде не изтича пара, проверявайте всеки месец, за да поддържате стандарт.

Изолация

Разходете се из съоръжението и обърнете внимание на наличието и състоянието на изолациите на тръбите.

Изолирани ли са парните тръби?

- Да Не се изисква действие.
- Не Направете изолация с необходимата технико-икономически обоснована дебелина на неизолираната инсталация при първа възможност.

Суха ли е изолацията?

- Да Проверявайте всеки месец, за да поддържате стандарт.
- Не Намерете източника на влага и коригирайте проблема - например ако тръбата тече, я поправете. Сменете изолацията.

Цели/непокътнати ли са изолацията, парната бариера и обвивката?

- Да Проверявайте всеки месец, за да поддържате стандарт.
- Не Заменете повредения материал.

Има ли по-ефективен изолационен материал?

- Да Оценете икономии от замяната на настоящата изолация с друг тип. Консултирайте се с независим професионалист.
- Не Не се изисква действие.

Достатъчно дебела ли е изолацията? (Изолацията трябва да бъде хладна на допир.)

- Да Не се изисква действие.
- Не Помислете за добавянето на повече изолация (консултирайте се с производителя или с изпълнител за съвет дали увеличаването на количеството ще бъде икономично).

Бележка: Добавете допълнителни въпроси към този работен списък за оценка, които са специфични за Вашето съоръжение.

8. Системи за осигуряване на микроклимата в помещенията

Основната цел на системата за отопление, вентилация и климатизация (ОВК) в една сграда е да регулира температура, влажността (по „сухия термометър“) и качеството на въздуха чрез добавяне или отнемане на топлина. Поради естеството на природните сили, влияещи върху сградата и върху различните видове механични системи, които могат да бъдат използвани в

нежилищните сгради, има твърде слаба зависимост между отоплителните или охладителни товари и енергията, консумирана от системата на ОВК.

Шест са основните фактора, определящи качеството на микроклимата:

- Температура на въздуха
- Относителна влажност
- Скорост и разпределение на въздуха
- Чистота на въздуха
- Шум и вибрации
- Осветеност

Първите четири от тях се осигуряват поддържат от системи за отопление, вентилация и климатизация (*системи за кондициониране*).

Типичните изисквани условия за комфорт на човека са:

- Температура от 22 до 27°C
- Относителна влажност 50%
- Скорост на въздуха 0.1 - 0.25 m/s
- Пресен въздух 25 - 35 m³/h за човек

Ако в някои случаи има специфични изисквания към параметрите на микроклимата, те се регламентират чрез санитарно-хигиенни и технологични норми.

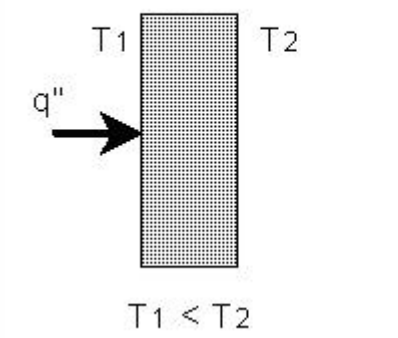
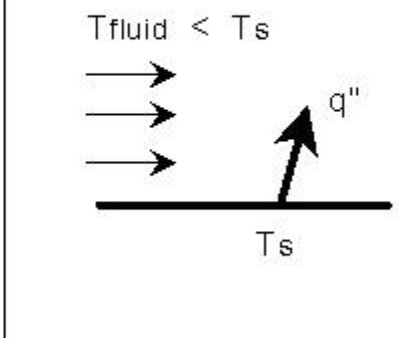
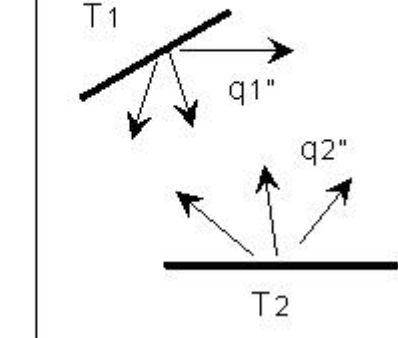
Преносът на топлина (или накратко *топлината*) представлява топлинната енергия, която се обменя между различните тела в резултат на тяхната температурна разлика. Топлопренасяне се наблюдава, когато топлината, съгласно Втория принцип на термодинамиката, тече от тяло А с по-висока температура към тяло Б с по-ниска температура, докато телата А и Б са в топлинно равновесие. Температурната разлика е движещата сила на топлопреминаването и образно може да бъде сравнена с електрическата потенциална разлика между две точки на електрическото поле.

Преносът на топлина може да се проявява в три различни форми - **кондукция** (*топлопроводност*), **конвекция** (*топло-масо-обмен*) и **радиация** (*излъчване*), илюстрирани на фигура 8.1. Тези режими са важни при обсъждането на топлинни системи и свързаните с тях енергоспестяващи мерки..

Кондукция се осъществява при физически контакт на неподвижни по-хладен и по-топъл предмет. При готвенето това ще бъде например използването на тиган за печени на месо. Топлинната енергия се предава на храната чрез контакта с горещия тиган.

Конвекцията е пренос на топлина чрез горещ газ или течност, които обтичат двата обекта обекта. При готвене например такъв процес се наблюдава при конвективна фурна (конвекция на горещ въздух), при кипене/варене (гореща вода) и пържене (горещо олио). Колкото по-голям е топлинният капацитетът на флуида, използван като топлоносител, толкова по-бърз ще бъде процесът (пърженето в течност е много по-бързо от печене на горещ въздух).

Радиацията е пренос на топлина чрез лъчиста топлина от по-горещ предмет на по-хладен предмет в пространството. При готвенето скарата/бройлерът е в голяма степен изложен(а) на лъчист трансфер на топлина.

Conduction through solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation exchange between two surfaces
		

Фигура 8.1. Начини на пренос на топлина – кондукция, конвекция и радиация.

Отоплителният или охладителен товар на дадена сграда зависи от различните топлинни приходи и загуби на сградата, включително от слънчевата топлина и от вътрешните топлинни източници, както и от топлинните печалби или загуби, дължащи се на обмяна на топлина през сградната обвивка и инфилтрация (просмукване) на външен въздух (Фиг. 8.2).



Фигура 8.2. Основни източници на топлина в затворено пространство.

Обектите се обслужват от много различни видове ОВК системи, които трябва както да осигуряват комфорт на хората, така и да отговарят на изискванията на производствените процеси. ОВК системите обикновено са

предназначени да покриват топлинните нужди и да осигуряват вентилация и управление на температурата и влажността на въздуха в сградите.

Една програма за управление на енергията на ОВК система трябва да започне с оценка на съществуващите системи за ОВК, за да се определи техният вид, функция и оперативни процедури. Тази оценка ще помогне за идентифициране на областите на енергийни загуби и възможностите за подобряване на ефективността.

Тъй като ОВК системите варират широко в различните промишлени предприятия, подобренията в производителността и намаляването на разходите за енергия също ще варират в широки граници. Три основни фактора определят използването на енергия от една ОВК система.

- изискваните качества на температурата и въздуха в помещенията;
- генерираната топлина от вътрешното осветление и оборудване; и
- дизайна и оформлението на сградата.

Вариантите на ОВК системи и конструкциите на сградите наистина не могат да се разглеждат отделно, тъй като те си влияят взаимно. В някои случаи от подобренията в ОВК системите могат да бъдат реализирани повече икономии от разходи за енергия, отколкото от всички други подобрения, направени по сградата.

Първият етап на всяка ефективна програма за управление на енергията е енергиен одит на въпросното съоръжение. При изследване на ОВК система/и в дадено съоръжение, първата стъпка е да се разбере с какво ще работите, т.е. какво оборудване и системи за контрол съществуват. Обикновено е полезно ОВК системите да се разделят в две категории - оборудване и системи, осигуряващи отопление и охлаждане и оборудване и системи, които осигуряват вентилация. От съществено значение е да се документират напълно вида и състоянието на всички съоръжения от основните компоненти, включително котли, чилъри, охладителни кули и въздушни камери, до различните системи за контрол - термостати, вентили и манометри, без значение дали са автоматизирани или ръчни. Целта е по-късно да се определи кои елементи могат да бъдат заменени или подобрени, за да се реализират икономии на енергията, консумирана от системата.

Втората стъпка е да се определи как работи системата. Това изисква някой да измери работните параметри, за да се определи дали системата действително работи по определения за нея начин. Определете ефективността на системата в реални условия, защото тя може значително да се различава от теоретичната ефективност при пълно натовръне. Определете как се работи със системата, какви са часовете на работа? Ръчно или автоматично се правят промените в системата за контрол? Разберете как системата действително работи, което може да се различава от начина, по който системата е проектирана да работи. Най-добре е да говорите с операторите и/или потребителите на системата, които знаят много повече за това как тя работи от инженерите или мениджърите. Ако системата вече не работи при проектните условия е изключително полезно да се определи кои фактори са отговорни за промяната.

Потенциални причини за оперативните промени са модификации на сградата или системата и грешки при поддръжката. Имало ли е структурни или архитектурни промени в сградата без съответните промени в ОВК системата? Имало ли е промени при изграждане на сградата? Системата все още ли е правилно балансирана? Провежда ли се рутинна поддръжка? Провежда ли се планирана превантивна поддръжка?

И **накрая**, полезно е да се определи дали системата може (и трябва) да се възстанови до първоначалните проектни условия. Ако това е практически осъществимо, може да е от полза да се извърши необходимия ремонт преди да се пристъпи към анализ на системата за по-нататъшни подобрения. Въпреки това, някои по-стари системи са толкова очевидно неефективни, че връщането им към първоначалните проектни параметри не си струва времето или разходите.

Документирайте всичко. Само когато имате пълен протокол/досие за това от какво се състои системата, как функционира и как се управлява, какви промени са направени и ще бъдат направени в бъдеще, вие ще можете правилно да оцените ползата от мерките за енергоспестяване, които могат да бъдат приложени към конкретната система в сградата.

Основните действия при обследване на ОВК системите може да се систематизират по следния начин:

А. Първа стъпка

➤ Идентификация на зоната за климатизиране (ОВК): оборудване, хора, ограждащи елементи и конструкции...

➤ Разделяне на системите на категории:

- системи, които осигуряват отопление и охлаждане,
- системи, които осигуряват вентилация.

➤ Документиране на типа и статуса на системите от основните им елементи - котли, генератори на студ, охладителни кули, въздухообработващи централи, вентилатори и помпи, до системите за автоматично регулиране и управление - термостати, вентили. Това е подготвителна дейност за последващата оценка за търсене на ефективни мерки за намаляване на разходите за енергия.

Б. Втора стъпка

➤ Идентификация на режимите на работа. Измерване на основни режимни параметри. Определяне дали системата работи по начина, за който е проектирана. Интервю с персонала.

➤ Определяне на ефективността на системата при работа в реални условия. Тя може да се различава съществено от теоретичната или от ефективността при пълен товар.

➤ Идентификация на факторите за установената промяна. Потенциални причини за промяна в работата на системата са промяна в системата, пропуски в поддръжката, архитектурно-строителна промяна или промяна в режима на експлоатация.

➤ Установяване дали системата е балансирана.

В. Трета стъпка

- Отговор на въпроса „Може ли да се възстанови проектното състояние на системата?“. Анализ на необходимите дейности за възстановяване на състоянието (ако е необходимо).
- Документиране на анализа. Привеждане на ясни доказателства за възможността/невъзможността за възстановяване на състоянието/ подмяна на системата.
- Генериране на подходящи ЕСМ.

8.1. Фактори за правилна работа на оборудване за отопление/охлаждане

8.1.1. Чистота на топлообменните повърхности

Загряващото с пара и охлаждащо с вода оборудване изпълнява много важни технологични функции, а ефективното отопление и охлаждане на технологичното оборудване зависи от няколко фактора [10]:

- безпрепятствен пренос на топлина както от парата към процеса, така и от процеса към охлаждащата вода, което изисква чисти топлообменни повърхности и отделяне на въздух и кондензат от парата;
- бързо премахване на кондензата от технологичното оборудване;
- контрол на топлинните загуби и извличане на икономии на технологичното оборудване;
- използване на технологичното оборудване само при необходимост; и
- бързо откриване и отстраняване на парни и водни течове.

Разделителните повърхности между парата и нагрявания продукт трябва да се поддържат възможно най-чисти. Натрупването на котлен камък от страната на парата и на утайка от страната на технологичния процес драстично намалява ефективността от преноса на топлина. При оборудване с водно охлаждане натрупванията по топлообменните повърхности причинява подобни проблеми.

Признак за такова състояние в дадена отоплителна система е увеличаване на налягането на парата. При охладителна система токъв признак е увеличение в дебита на охлаждащата вода. И в двата случая системата изразходва допълнителна енергия за преодоляване на намалената ефективност на трансфера на топлина, причинено от котления камък или утайката. Дори при малките котли предотвратяването на образуването на котлен камък може да доведе до значителни икономии на енергия. Натрупванията на котлен камък се появяват, когато калций, магнезий и силиций, които се срещат често като примеси при водоснабдяването, реагират и образуват непрекъснат накипен слой върху материала от водната страна на топлообменните тръби на котела.

Котленият камък създава проблем, защото неговата топлопроводност на един порядък по-малка от съответната стойност на чистата стомана. Дори и тънки слоеве от котлен камък служат като ефективен изолатор и забавят обмена на топлина. Резултатът е прегряване на метала на тръбите в котела, повреди в тръбите и загуба на енергийна ефективност. Загубите на гориво поради наличието

на котлен камък в котела могат да бъдат 2% при водотръбни котли и до 5% при пламъчно-тръбни котли. Енергийните загуби, като функция от дебелината и състава на котления камък, са дадени в таблицата по-долу.

Таблица 8.1. Енергийни загуби като функция от дебелината на котления камък.

Енергийна загуба поради натрупване на котлен камък			
Дебелина на котления камък, mm	Енергийна загуба, % от общото използване		
	Вид на котления камък		
	“Нормален”	С високо съдържание на желязо	Желязо плюс силиций
0.04	1.0	1.6	3.5
0.08	2.0	3.1	7.0
0.12	3.0	4.7	-
0.16	3.9	6.2	-

Забележка: “Нормалният” котлен камък обикновено се среща при съоръжения с ниско налягане. Натрупването на котлен камък с високо съдържание на желязо и на желязо плюс силиций е резултат от условия на експлоатация при високо налягане. При добре проектирани системи на природен газ се достига до 10% излишък на въздух. Често срещано практическо правило е, че ефективността на котела може да бъде увеличена с 1% за всяко 15%-но намаляване на излишния въздух или намаляване на температурата на изходящите газове с 4.4°C.

8.1.2. Изолiranje на оборудването за отопление и охлаждане

Топлинно неизолираните или неправилно изолирани парни тръби са постоянен източник на загуба на енергия, защото те излъчват топлина към обкръжаващата среда, вместо да я пренасят към оборудването, за което е предназначена. Топлинните загуби намаляват налягането на парата в крайната точка. При такава ситуация се увеличава натоварването на котела, защото се изисква допълнително пара за компенсиране на загубите.

Всички парни тръби трябва често да се проверяват. Неизолираните парни тръби трябва да се изолират, а изолацията трябва да се проверява и заменя, когато се повреди. Изолация от влакна с голям обем (например минерални и стъклени влакна, целулоза) губи ефективността си, когато се намокри, а тръбите на открито са особено уязвими по отношение на влагата. Ето защо при инспекция на тръбите следва да се проверява изправността и устойчивостта на атмосферни влияния на изолациите на паропроводите.

Неизолираното отоплително оборудване увеличава натоварването на парната система, което трябва да компенсира загубата на топлина в обкръжаващата среда. Поставянето на изолация на външната повърхност на отоплителната техника намалява загубата на топлина към обкръжаващата среда. Неизолираните хладилни съоръжения по подобен начин увеличават натоварването на охлаждането, тъй като охлаждащата система също трябва да отнеме топлина, получена от околната среда. Прилагането на изолация на

външната повърхност на оборудването намалява преноса на топлина от околната среда.

Икономичната дебелина на изолацията за парните тръби (т.е. най-добрият компромис между цена на изолацията и потенциалните икономии на енергия) зависи от размера на тръбата и температурата на околната среда. Въпреки това загубата на енергия не се ограничава само до тръбопроводната система. Технологичното оборудване и крайните агрегати за отопление също могат да бъдат основен източник на загуба на енергия.

8.1.3. Смекчаване изискванията за овлажняване

Крайната цел на всяка система за отопление, охлаждане и вентилация обикновено е да максимизира топлинния комфорт на хората. Поради преобладаването на обикновени термостатни системи за контрол в жилищни и малки търговски ОВК системи често се предполага, че топлинният комфорт на хората е функция единствено, или поне основно, на температурата на въздуха. Това не е така.

Всички живи същества генерират топлина чрез изгаряне на храна - процес, известен като обмяна на веществата (метаболизъм). Само 20% от енергията от храната се превръща в полезна работа. Остатъкът трябва да се разсейва като топлина. Това помага да се обясни защо ние се чувстваме комфортно в среда, значително по-охладена от нашата вътрешна температура от около 37°C.

Освен температурата на въздуха и влажността, движението на въздуха и температурата на повърхността на околната среда също имат значително влияние върху степента, в която човешкото тяло може да разсейва топлината. При температури под около 27°C по-голямата част от загуба на топлина на тялото е чрез конвекция и радиация. Конвекцията се влияе най-вече от температурата на въздуха, но е силно повлияна и от скоростта на въздуха. Радиацията е основно функция на относителната температура на повърхността на тялото и неговата обкръжаваща среда.

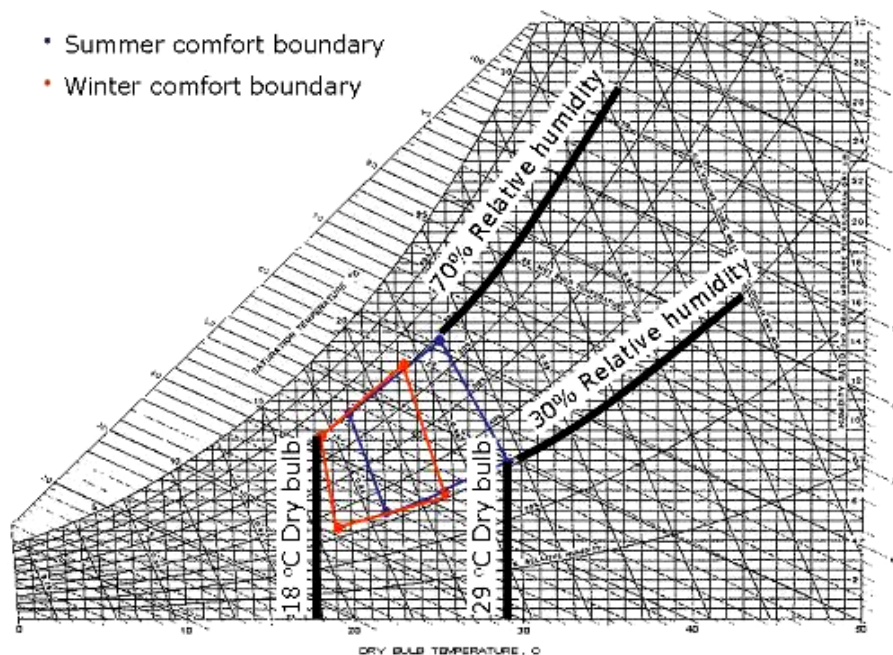
При температури над 27°C основният механизъм за загуба на топлина е изпаряването. Скоростта на изпарение зависи от температурата и влажността на въздуха, както и от скоростта на въздуха, който минава около тялото и отнася изпарената влага.

Модемните контролни системи за ОВК могат да реагират на повече параметри, а не просто на температурата на въздуха. Една възможност, която се разработва от доста време, е датчик за влага, който следия нивата на влажност в закрити помещения и контролира овлажняването. Най-съвременните контролни системи обаче могат да измерват оперативната температура, която е равна на температурата на въздуха, зависеща от условията на радиация и конвекция на действителната околна среда. Оперативната температура технически се дефинира като постоянната температура на въображаемо изолирано място, с което индивидът обменя променлива топлина чрез радиация и конвекция, както в реалната среда.

Степента на овлажняване, изисквана в промишлената среда, обикновено се диктува от технологичния процес и може да изисква значителна енергия. През зимата са необходими 14.6 kW енергия за увеличаване на влажността на 1 m³ от външния въздух до около 40% относителна влажност при 21°C.

- Разгледайте съществуващите нива на овлажняване за комфорт на хората и изискванията на производството. Могат ли те да се понижат?
- Почиствайте и проверявайте често водата, която се използва за овлажняване. Нека това е част от рутинна поддръжка, за да осигурите ефикасна работа и да избегнете повреда на други ОВК компоненти.
- Помислете за използването на атомизация на водата при високо налягане вместо на сгъстен въздух за овлажняване за значителни икономии на енергия (например компания заменя компресор със 140-hp, предназначен за овлажняване, с помпа с 7.5-hp, необходима за атомизация).

В общи линии топлинният комфорт може да се постигне при температура на въздуха между 18°C и 29°C и относителна влажност между 30% and 70% при различна скорост на въздуха и лъчиста повърхностна температура. Въпреки това не бива да се забравя, че топлинният комфорт на хората е сложна функция от температурата, влажност, движение на въздуха, топлинно излъчване от близкото обкръжение, ниво на активност и количество на дрехите.



Фигура 8.3. Летни и зимни зони на комфорт.

8.2. Възможности за управление на енергийните разходи

За повечето промишлени предприятия, складове и офиси, които работят по-малко от 24 часа на ден или 7 дни в седмицата, икономии на енергия могат да бъдат реализирани от оптимизиране на температурни разлики и намаляване на степента на вентилация. В зависимост от сложността на ОВК системата,

прилагането на система за управление на енергията може да бъде просто, напр. като инсталиране на програмируеми термостати, или сложно като инсталирането на пълен пряк цифров контрол.

8.2.1. Мерки за намаляване на разходите

Един от основните източници на загуби са излишните количества външен въздух за отопление или охлаждане. Излишният външен въздух влиза в сградите през просмукване през неплътностите (*инфилтрация*) и чрез ОВК системите. Намаляването на задържането на топлина в климатизираните помещения ще доведе до намаляване на енергията, използвана за охлаждане. Задържането на топлина може да се намали чрез следните мерки:

- Подобрете структурата/качеството на сградата (например изолация, слънчево засенчване).
- Предпазете сградата чрез сенчести дървета.
- Намалете осветлението, където е възможно (т.е. актуализирайте/автоматизирайте системата за осветление).
- Помислете за увеличаване използването на дневната светлина (особено от север).
- Добавете изолация на горещите повърхности.
- Изолирайте оборудването, генериращо топлина, и осигурете местна смукателна и приточна вентилация.
- Запушете ненужните прозорци.

Намаляването на загубите на топлина в помещенията пести енергия за отопление и води до подобрени условия на труд и по-голяма продуктивност на служителите. За тази цел, следните мерки вършат добра работа:

- Подобрете изолацията на сградата.
- Изолирайте проводниците на студ като тръби и канали.
- Запушете ненужните прозорци.
- Осъвременете прозорците и вратите.
- Контролирайте изтичането на въздух от съоръжението.

8.2.2. Други евтини енергоспестяващи мерки

- Инсталирайте автоматично управление за осветителните и вентилационни системи.
- Свържете вътрешния контрол за климата в отделните помещения с отделни системи за отопление и охлаждане, за да предотвратите едновременно отопление и охлаждане.
- Инсталирайте анализатори за натоварването в контролни точки на мултизоналните и двойни канални системи, за да оптимизирате топлите и студени повърхностни температури.
- Инсталирайте анализатори за натоварването в контролни точки на крайните системи за подгряване, за да оптимизирате температурата на подавания въздух и да минимизирате преотоплението.

- Инсталирайте часовници за затваряне на системата за въздух или за преминаване към 100% рецикулация, когато обслужваното пространство е празно.
- Инсталирайте контролни прекъсвачи, за да спрете помпите на отоплителната или охлаждащата система, когато не се изисква производство.
- Инсталирайте економайзер на централната система за обработка на въздуха, за да се ползва външен въздух, който да замени изкуственото охлаждане, когато е възможно.
- Добавете автоматични вентили за управление на нагревателите и калориферите, за да се изключи притока на вода или пара, когато вентилаторите не работят.
- Помислете за инсталирането на дискове с променлива скорост на центробежните чилъри - възможни са спестявания до 40% в сравнение с конвенционален чилър.
- Осигурете заключващи се капаци на автоматичното управление и термостати, за да предотвратите неоторизирана настройка или вмешателство.

8.2.3. Допълнителни ЕСМ чрез модернизация

Типични мерки при отоплителна система могат да бъдат [11]:

- Смяна на ръчните вентили за пара за отопление с клапани за контрол на парата, интегрирани с веригата за контрол на температурата.
- Управление на дебита на циркулиратора гореща вода.
- Системите за затопляне на чешмяна вода и за отопление трябва да бъдат отделно.
- Увеличаване на връщания парен кондензат от процеса и нагревателите на въздуха (обикновено спестява около 80 kWh/тон върнат кондензат).
 - Идентифициране и отстраняване на парни течове.
 - Изолиране на тръбопроводи и клапани за пара, т.н..
 - Поддръжка на кондензните гърнета.
 - Контролиране температурата на връщащия тръбопровод в системата за циркулиране на гореща вода.

Необходимостта от пара трябва да бъде сведена до абсолютния минимум. Изтичане на пара, издаващо лек свистящ звук, и едва забележим облак пара дава загуба от около 1 kg пара/час или около 5.5 MWh/година, равна на около 800 Nm³ природен газ/година.

Увеличаване на върнатия кондензат с 1 тон/час спестява около 600 MWh/година, равни на около 90 000 Nm³ природен газ за година. За отопление на ниска температура може да се използва системата за циркулиране на гореща вода, която дава възможност за поддържане на висока топлинна ефективност в котела чрез въвеждане на допълнителни отоплителни повърхности на економайзера.

8.3. Охладителни системи

Чилърите и хладилните машини основно поглъщат нископотенциална топлина (с ниска температура) и след специфичен процес отдават топлина с висока температура. Обикновено те се използват в промишлеността, но имат приложение и в домакинствата и сградите. Сектори с голяма необходимост от охлаждане са хранително-вкусовата промишленост, химическата промишленост, стъklarската промишленост и производството на пластмасови изделия.

При тези машини охлаждащото вещество се пренася от резервоара за течност (с температура и налягане като на кондензатора) чрез разширяващо устройство и изпарител в компресора и накрая до кондензатора. По време на този цикъл хладилният агент променя агрегатното си състояние. Преминавайки през разширяващото устройство, хладилният агент (агрегатно състояние - наситена течност) намалява своето налягане и температурата му се понижава. В изпарителя топлината се извлича от охлаждащия резервоар (който съдържа средата, която ще бъде охладена). Топлинна изолация с помощта на високоефективни HFC пяна намалява консумацията на енергия от хладилните инсталации.

За охладителните водни системи съществуват няколко варианта:

- Могат да бъдат инсталирани охладителни кули и плоскостни топлообменници.
- Все по-често се прилагат термпомпи със земен източник, което може да осигури най-ефикасната система с няколко странични ползи.

Може да се използва свободно охлаждане под формата на економайзери за покривни агрегати и системи за обработка на въздуха, за да се елиминира необходимостта от охлаждане през зимата.

Междувременно на свободния пазар има много видове хладилни агенти. Изборът на хладилен агент зависи от вида на компресора и конкретните изисквания. Но хладилните агенти въздействат върху околната среда, като допринасят за изтъняването на озоновия слой и за глобалното затопляне. За да намалят тези отрицателни въздействия, много страни вече регулират или забраняват използването на някои хладилни агенти (например R 22). По-долу можете да видите списък на най-разпространените хладилни агенти.

Табл. 8.2. Влияние на хладилни агенти върху атмосферата [12].

№	Хладилен агент	Потенциала на изтъняване на озоновия слой (ОПР)	Потенциал за глобално затопляне (GWP)
1	R 22	0.05	1,700
2	R 134a	0	1,300
3	R 404a	0	3,800
4	R 407c	0	1,525
5	R 717	0	0

Анализът на потенциала за икономии в охладителните системи показва, че цялостната оптимизация на системата е най-ефикасният вариант за намаляване

потреблението на енергия. Базирайки се на един оптимизиран проект на охладителна система, по-нататъшни мерки могат да доведат до допълнителни икономии на енергия.

Таблица 8.3. Потенциал за пестене на енергия [12].

Мерки	Потенциал за пестене
Оптимизация на системата	8 – 10 %
Поддръжка	4 – 8 %
Изолация	5 – 8 %
Възстановяване на топлина	80% топлина
Ефективни двигатели	2 – 6 %
Правилно използване и избягване на ниска температура	3 – 15 %

8.3.1. Охлаждане/Замразяване

Охлаждането сега е част от нашия начин на живот. Би било немислимо да бъде по друг начин. То дори се е превърнало в основна съставка и „задължително условие“ в подобряването на качеството на нашия живот.

Промишлеността използва охлаждането като метод за съхранение и преработка. Основната цел на хладилната система е да отнеме топлината от даден процес и да я отдели в околната среда.

Охладителната инсталация дава възможност за съхранение, транспортиране и употреба на хранителни продукти при идеални хигиенни условия, намалявайки загубите. Охлаждането на важни медицински продукти като ваксини и кръв често е належащо за тяхното съхранение. Охлаждането на техническо оборудване от големи компютърни системи до най-сложно медицинско оборудване също е жизнено важно.

Практическите приложения на охлаждането варират в широки граници по отношение на размер и ниво на температурата. Домашните хладилници изискват от 60 до 140 вата електрическа енергия и съдържат от 40 до 180 грама хладилен агент. Индустриалните хладилни системи за студено съхранение имат изисквания към електрозахранването до няколко мегавата и съдържат хиляди килограми хладилен агент.

Температурите на хладилния агент варират от +15 до –70 градуса Целзий. Размерът на потенциалния пазар за тези съоръжения може да достигне 100 000 млн. евро годишно. Следващата таблица обобщава различните видове хладилни агенти и хидрофлуоровъглеродите (HFCs), използвани за различни случаи.

Таблица 8.4. Приложения на хладилни агенти

Приложение	Кратко описание	Хладилен агент
Домашно охлаждане	Уреди, използвани за съхранение на храна в жилищата	HFC-134a
Търговско охлаждане	Запазване и показване на	R 404A, R 507, HFC-

	замразени и пресни храни в обектите за търговия на дребно.	134a
Преработка на хранителни продукти и хладилно съхранение	Оборудване за запазване, обработка и съхранение на храна от началната дестинация до мястото за разпределение на едро.	R410A, R407C, R507, HFC-134a
Промислено охлаждане	Голямо оборудване, обикновено от 25 kW до 30 MW, използвано за химическа преработка, хладилно съхранение, преработка на хранителни продукти, отопление и охлаждане по области	HFC-134a, R-404A, R-507
Транспортно охлаждане	Оборудване за запазване и съхраняване на стоки, предимно хранителни продукти по време на превоз с автомобилен, железопътен, въздушен и морски транспорт.	R410A, R407C, HFC-134a

Често се среща хладилните системи в експлоатация да използват с 20% повече енергия, отколкото е необходимо. Една програма за управление на енергията на хладилна система трябва да започне с оценка на местните температури, работните изисквания, състоянието на хладилното оборудване и системи, за да се идентифицират области на енергийни загуби и възможности за управляване на ефективността. При охлаждането има само няколко основни начина за пестене на енергия и трябва да бъдат зададени следните въпроси:

- Можем ли да премахнем някои нужди от охлаждане?
- Можем ли да премахнем/намалим някои хладилни натоварвания?
- Можем ли да повишим хладилните температури?
- Можем ли да подобрим начина, по който работи хладилната инсталация?
- Можем ли да възстановим отпадната топлина?

8.3.2. Класификация за безопасност на хладилните агенти

Класификацията за безопасност се състои от два буквено-цифрени знака (например A2). Главната буква съответства на токсичността, а цифрата - на запалимостта.

Класификация по токсичност.

Хладилните агенти се делят на две групи според токсичността:

Клас А обозначава хладилни агенти, за които не е идентифицирана токсичност в концентрации, по-малки или равни на 400 ppm;

Клас В обозначава хладилни агенти, за които има доказателства за токсичност в концентрации, по-малки от 400 ppm.

Класификация по запалимост.

Хладилните агенти се делят на три групи според запалимостта:

Клас 1 включва хладилни агенти, които не показват разпространение на пламък, когато се тестват във въздуха при 21°C и 101 kPa;

Клас 2 обозначава хладилни агенти с по-ниска граница на запалимост, не повече от 0.10 kg/m³ при 21°C и 101 kPa и с топлина на изгаряне по-малко от 19 kJ/kg;

Клас 3 обозначава хладилни агенти, които са силно запалими, както е определено от по-ниската граница на запалимост от по-малко или равно на 0.10 kg/m³ при 21°C и 101 kPa или с топлина на изгаряне, по-голяма или равна на 19 kJ/kg.

Смеси.

Смесите от хладилни агенти, независимо дали са зеотропни (zeotropic) или азеотропни (azeotropic) с характеристики на запалимост и/или токсичност, които могат да се променят при промени в състава по време на фракциониране, се класифицират в групи за безопасност въз основа на най-лошия случай на фракциониране. Например R404A е класифициран като A1.

Таблица 8.5. Класификация на основните хладилни агенти.

Хладилен агент	Име	Състав или химична формула (масов %)	Класификация за безопасност
НЕОРГАНИЧНО СЪЕДИНЕНИЕ			
R-717	амоняк	NH ₃	B2
R-718	вода	H ₂ O	A1
R-744	въглероден диоксид	CO ₂	A1
ОРГАНИЧНО СЪЕДИНЕНИЕ			
Въглеводороди			
R-290	пропан	CH ₃ CH ₂ CH ₃	A3
R-600	бутан	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	A3
R-600a	изоутан	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	A3
R-1270	пропилен	CH ₃ CH=CH ₂	A3
Хидроглуревъглороди (HFCs)			
R-32	дифлуорометан	CH ₂ F ₂	A2
R-125	пентафлуороетан	CHF ₂ CF ₃	A1
R-134a	1,1,1,2-тетрафлуороетан	CH ₂ FCF ₃	A1
R-143a	1,1,1-трифлуороетан	CH ₃ CF ₃	A2
R-152a	1,1-дифлуороетан	CH ₃ CHF ₂	A2
Азеотропни смеси			
R-502		R22/R115 (48.8/51.2)	A1
R-507		R125/R143a (50/50)	A1
Зеотропни смеси			
R-404A		R125/R143a/R134a (44/52/4)	A1
R-407C		R32/R125/R134a (23/25/52)	A1
R-410A		R32/R125 (50/50)	A1

8.3.3. Чилъри

Чилърът е машина, която отнема топлина от течност чрез парна компресия или хладилен цикъл на поглъщане. След това течността може да циркулира през топлообменник за охлаждане на въздуха или оборудването според изискванията.

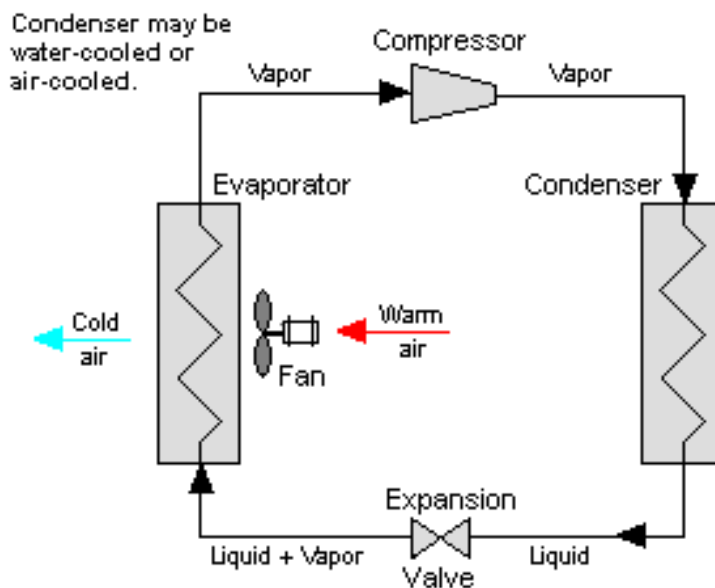
Въпреки че охлаждането може да бъде постигнато чрез различни средства, най-често се използва цикълът на компресия. Казано по-просто, при промяна на налягането на хладилния агент състоянието му ще се промени на течност или пари. Промяната в състоянието кара хладилният агент да поглъща или освобождава топлина. Така в хладилната система съществуват два вида налягане - на изпарение (ниско налягане) и на кондензация (високо налягане).

Работата на чилъра се основава на *цикъла на охлаждане* и разбирането на този цикъл е необходимо. При цикъла на охлаждане топлината на въздуха, преминаващ покрай охлаждащите намотки, повишава температурата на водата, която циркулира в изпарителя. Тази топлина минава през намотките на чилъра, повишава температурата на течния хладилен агент до точката му на кипене и го изпарява в газ.

Термодинамичните цикли на топлинна помпа и на хладилна машина са концептуалните и математически модели за топлинните помпи и хладилниците. Топлинната помпа е машина или устройство, което премества топлина от едно място (източник) с по-ниска температура на друго място (потребител) с по-висока температура чрез използване на механична работа или източник на топлина с висока температура. Така термопомпата може да се разглежда като „нагревател”, ако целта е да се затопли радиатор (канто е при затопляне вътрешността на дома в студен ден) или като „хладилник”, ако целта е да се охлади източника на топлина (както е при нормално функциониране на фризер). И в двата случая принципите на работа са идентични. Топлината се премества от по-студено към по-топло място.

Термостатния вентил за разширяване контролира количеството на течен хладилен агент с високо налягане, навлизащо в изпарителя. Когато хладилният агент преминава през отвора на вентила, налягането му се намалява (дроселира), което го кара да се изпарява и да поглъща топлина. Компресорът поема парата с ниско налягане и увеличава налягането и температурата ѝ. Тази гореща пара с високо налягане се ускорява във въздуха от изпускателната клапа на компресора към кондензатора, където се охлажда с въздух или вода. Тъй като топлината се отнема, парата се кондензира до течност и цикълът започва отново.

Основните компоненти за изпълнение на тази задача са изпарителя, компресора и кондензатора, което оправдава допълнителното обяснение за тяхната функция и видовете налични компоненти. За да се разбере процеса, е необходимо да се познават трите основни компонента на оборудването (Фиг. 8.4).



Фигура 8.4. Схема на компонентите на типична парокompresионна хладилна система.

Изпарител. Премахва топлината от въздуха, преминаващ през намотките на системата за охлаждане на въздуха. Изпарителят се състои от поредица серпентини, в които течността се изпарява в газ. Това се случва чрез поглъщане на топлината от охладената водна пара при ниска температура, след като нейното налягане е било намалено в разширителния винтил.

Компресор. Поддържа по-ниско налягане в изпарителя, отколкото в кондензатора. Охладителната течност се разширява и намалява налягането при преминаването си през малкия отвор на разширителния винтил. Това повишава налягането на изпарената течност до точка, при която температурата на кондензация е над температурата на наличната охлаждаща вода.

Бележка: Хладилният агент служи като средство за пренос на топлина, като топлината накрая се отделя в кондензатора.

Кондензатор. Той охлажда горещата пара, получена от компресора до точка, в която тя ще кондензира в течност. Кондензаторът може да бъде с въздушно или с водно охлаждане. Кондензаторът с въздушно охлаждане използва въздух, издухан през редици тръби, съдържащи газ от компресора.

Чилърите често се категоризират според техния размер (компактни или централни) и според вида на кондензатора (въздушни или водни).

Класификацията според вида на кондензатора е:

Чилъри с въздушно охлаждане. Както подсказва името, чилърите с кондензатори с въздушно охлаждане използват въздух, за да отнемат топлина от хладилния агент. Вентилатор прекарва въздух през малки тръбички, съдържащи горещия хладилен агент, и освобождава топлината в атмосферния въздух.

В сравнение с водата въздухът е лош проводник на топлина и следователно чилърите с въздушно охлаждане са по-големи и по-малко ефективни. Типичната температура на кондензация за чилър с въздушно охлаждане е около 50°C, за разлика от 40°C в подобен чилър с воден

кондензатор. Чилърите с въздушно охлаждане също работят при по-високи коефициенти на компресиране. Това означава по-малко охлаждане на потребление от един ват.

За по-малките преносими чилъри кондензаторът с въздушно охлаждане е интегриран в корпуса на чилъра и така неговата топлина се отделя в зоната около чилъра. Тази топлина може да бъде регенерирана за допълване на системата за отопление на сградата през зимата. През лятото това ще доведе до допълнително натоварване на климатичната система на сградата, освен ако чилърът и/или кондензаторът се намира на открито. Има два вида чилъри с въздушно охлаждане – с разделена или с интегрирана система. С разделена система или „отдалечен кондензатор“ чилърът е на закрито, а кондензаторът - на открито. При интегрирания чилър можете да постави малкото устройство на закрито, тъй като натоварването на климатика няма да бъде голямо.

Чилъри с водно охлаждане. Кондензаторите на чилърите с водно охлаждане са три основни конструкции - *тръба в тръба, кожухотръби и платкови.*

При конструкцията „тръба в тръба“ една тръба е вмъкната в друга, а тръбите са навити в U-образна форма за икономия на пространство. Преносът на топлина от хладилния агент към водата се извършва, като хладилният агент преминава през едната тръба, докато водните потоци текат в противоток в обратна посока през другата тръба. Този схема на потока подобрява трансфера на топлина.

Конструкцията на кожухотръбните кондензатори е много сходна с предходната с изключение на това, че при нея има сноп от тръби, поставени в обвивка. Хладилният агент е в обвивката около тръбите, през които тече водата. Това решение позволява тръбите да бъдат изваждани в случай на повреда.

Платковият (пластинчат) кондензатор е с високоефективен и компактен дизайн. Този теплообменник има пластини от неръждаема стомана, в които са щамповани с малки канали за получаване на множество точки за контакт и повишена турбулентност на течността, като по този начин се осигурява отлично топлопренасяне. Плочите са подредени и заварени, като формират два независими потока, движещи се в редуващи се слоеве.

Понеже този тип оборудване се изработва с пластини от неръждаема стомана и се споява с медни сплави, то не кородира. Не само технологията на заваряване на плочите значително намалява изискванията за подово пространство в сравнение с конвенционалните корпусни и "тръба в тръба" изпарители, но платковите също са далеч по-ефективни. Подобно на корпусните и тръбни конструкции, и при платковите хладилния агент и водата се движат в противоток за по-интензивен трансфера на топлина.

Както вече се спомена, водните кондензатори са по-ефективни от въздушните, често работят в диапазона от 15 KEE или по-добре (KEE е коефициент за енергийна ефективност, kJ на час за W консумирана енергия). Чилърите с водно охлаждане изискват източник на вода като охладителна кула за извличане на топлината от хладилния агент в кондензатора и разсейването и в

обкръжаващата среда. Типичната температура на кондензация в чилър с воден кондензатор е 40°C.

Чилъри, които се използват да охладят вода, са широко използвани в центровете за данни на охладителните системи, но изискват голямо количество на електроенергия, за да работят. Със засилване на вниманието към енергийните разходи много центрове за данни са намалили зависимостта си от чилърите, за да подобрят енергийната ефективност на техните съоръжения.

Изпарителни кондензатори. Друга алтернатива на въздушно и водно охладителните кондензатори е изпарителния кондензатор. Изпарителните кондензатори са подобни на охладителни кули с вградени топлообменници. Хладилният агент преминава през сноп от медни тръби в изпарителната камера. Водни каскади над външната му повърхност и въздушен поток в противоток с протока вода изпарява част от водата. Това води до ефективно охлаждане на хладилния агент.

В долния край на кондензатора има шахта за съхранение на вода и помпа черпи вода, която се пръска през серпентини. През зимата помпата се изключва и само въздуха, който преминава през серпентините, е достатъчен, за да охладят хладилния агент. Чилърът по този начин става с въздушно охлаждане.

В една типична инсталация с центробежен чилър, който използва охладителна кула за охлаждане на вода до 4° C, изискванията към електрозахранването могат да бъдат намалени с около 17%, ако температурата на входната вода се намали от 29.4° C до 23.9 ° C.

Увеличение на температурата на кондензация с 1°C ще увеличи разходите 2 - 4%, както и намаляване на температурата на изпарение с 1°C ще увеличи разходите също с 2 - 4%.

8.3.4. Термопомпени системи

За климати с умерени нужди за отопление и охлаждане термопомпите предлагат енергийно-ефективна алтернатива на печките и климатици. Както вашия хладилник, термопомпите използват електричество, за да предават топлина от хладна среда към по-топла, правейки хладния източник още по-студен, а топлото пространство - по-топло. По време на отоплителния сезон термопомпите преместват топлина от прохладните открити пространства в топлата къща, по време на охлаждащия сезон топлината бива пренасяна от вашия дом към топлината навън. Понеже само преместват топлината, а не я генерират, топлинните помпи може да осигурят до 4 пъти повече енергия, отколкото изразходват. Целта на следващия кратък обзор на промишлените термопомпи е да обърне внимание на многото предимства, които предлага тази сравнително нова технология, и да се стимулира интеграцията на термопомпите в отоплителната система.

Термопомпите са устройства, които използват нискокачествена топлина (напр. отпадъчна технологична топлина или вода или топлината на земните недра) като източници на топлина и предоставят тази топлина при по-високи температури за промишлени процеси на отопление или предварително

подгряване. Някои термopомпи могат да работят и в обратна посока като чилъри, като разсейват топлината от технологичните процеси.

Видовете термopомпи включват:

- въздух-въздух;
- вода-въздух;
- въздух-вода;
- вода-вода.

Основните възли на термopомпите са:

- затворен цикъл за компресиране, движен от
 - електрически мотор
 - дизелов двигател;
- абсорбционен цикъл, два вида:
 - термopомпа
 - топлинен трансформатор;
- механично компресиране на парите (MBP);
- термично компресиране на парите (TVR).

Най-често срещаният вид е **въздушната термopомпа** с топлинен източник въздух, която прехвърля топлина между вашата къща и външния въздух. Ако се отоплявате с електрическа енергия, термopомпата може да намали количеството електроенергия, използвана за отопление, с до 30% - 40%. Високоефективните термopомпи намаляват влагата във въздуха по-добре от стандартните централни климатици, което води до по-малък разход на енергия и по-комфортно охлаждане в летните месеци. Въпреки това ефективността на повечето въздушни топлинни помпи като източник на топлина спада драстично при ниски температури, което ги прави неподходящи за студени климати, макар че има системи, които могат да преодолеят този проблем.

За сгради без канали е разработена безканална версия, наречена **мини-сплит въздушна термopомпа**. В допълнение има специален вид въздушна термopомпа, наречена "обратен чилър цикъл", която, освен въздух, генерира и топла и студена вода, което позволява да бъде използвана с лъчисти системи за подово отопление в режим на отопление.

По-висока ефективност се постига с **геотермални** (със земен източник или водоизточник) **термopомпи**, които пренасят топлина между вашата къща и земята или близкия водоизточник. Въпреки, че тяхната инсталация струва по-скъпо, геотермалните топлинни помпи имат ниски оперативни разходи, защото се възползват от сравнително постоянните температури на земята или на водата. Все пак инсталацията им зависи от размера на вашия парцел, от подземните му дадености и от ландшафта. Термopомпите със земен източник или водоизточник може да се използват в по-екстремни климатични условия, отколкото въздушните топлинни помпи, като удовлетвореността на клиентите от такива системи е много висока.

В ситуация, в която се изисква бърза реакция на потребностите за отопление / охлаждане, се инсталират електрически обратими термopомпи. Всяка

помпа от този вид може да работи като нагревател или чилър заедно с отоплителното тяло. Потреблението на енергия, капиталовите и оперативните разходи намаляват значително.

8.3.5. Мерки за намаляване на разходите

Хладилната система е аналогична на помпена система, в която помпи пренасят вода от по-ниско към по-високо ниво. Колкото по-високо помпата трябва да издигне водата, толкова повече енергия консумира тя за пренасяне на единица обем вода. Повечето мерки за намаляване на разходите в охладителните системи са насочени към увеличаване на разликата между температурите на кондензация и изпарение, които се осъществяват в цикъла, като по този начин се повишава *коефициента на преобразуване (COP)*.

Следните мерки за намаляване на разходите увеличават COP чрез намаляване (или възможност за намаляване) на кондензационните температури [10]:

- Повторно прегряване на изпарения хладилен агент чрез използването на топлообменник или чрез инжектиране на течен хладилен агент в горещата пара (подобрява се ефективността на кондензатора).
 - Използвайте променливо налягане.
 - Използвайте налягането на течността за по-нататъшното понижение на налягането в кондензатора.
- Преместване на външната серпентина на кондензатора в чиста, хладна среда на отработен въздух.
- Оборудвайте охладителната кула с автоматична система за пречистване на водата.

Мерки за намаляване на разходите, които увеличават COP чрез повишаване на температурата на изпарение, са:

- Задаване на възможно най-висока температура на изпарителя, каквато процеса позволява.
- Инсталиране на автоматични контролери, за да се използват по-високи температури на изпарителя при частично натоварване.

Някои специфични мерки са насочени към фина настройка на контролните системи, за да работи съоръжението с максимална ефективност, като по този начин се намаляват топлинните разходи и върховото потребление на електроенергия. Примери за такива мерки за намаляване на разходите са:

- Осъвременяване на автоматичния контрол в хладилните инсталации, за да се предоставят точни показания и да се позволи гъвкава оптимална работа.
- Разместване на производствените графици за намаляване на върховото потребление на електроенергия.
- Инсталиране на двигатели с променлива скорост на вентилаторите на охладителни кули, изпарителните охладители и въздушното охлаждане на кондензаторите.
 - Обновяване на изолацията.
 - Подмяна на неподходящите врати на студените зони.

- През зимата изпарителните охладители и кондензатори да работят със сухи серпентини за избягване на отоплителните линии и отоплението на тарелките.

- Да се обмисли премахването на горещия газос байпас на хладилната система.

- Избягвайте използването на системи за контрол на капацитета на компресора, които дроселират входящия поток на газа и повишават налягането, или да се използва топъл байпас по газ.

Други евтини мерки за повишаване на енергийната ефективност при охлаждане са:

- Обмислете инсталиране на автоматична филтрираща система за пречистване на въздуха и некондензиращите газове. Пречистването не само ще спести енергия, но и ще намали загубата на хладилен агент и работните часове на компресора с последващо намаляване на разходите за поддръжка.

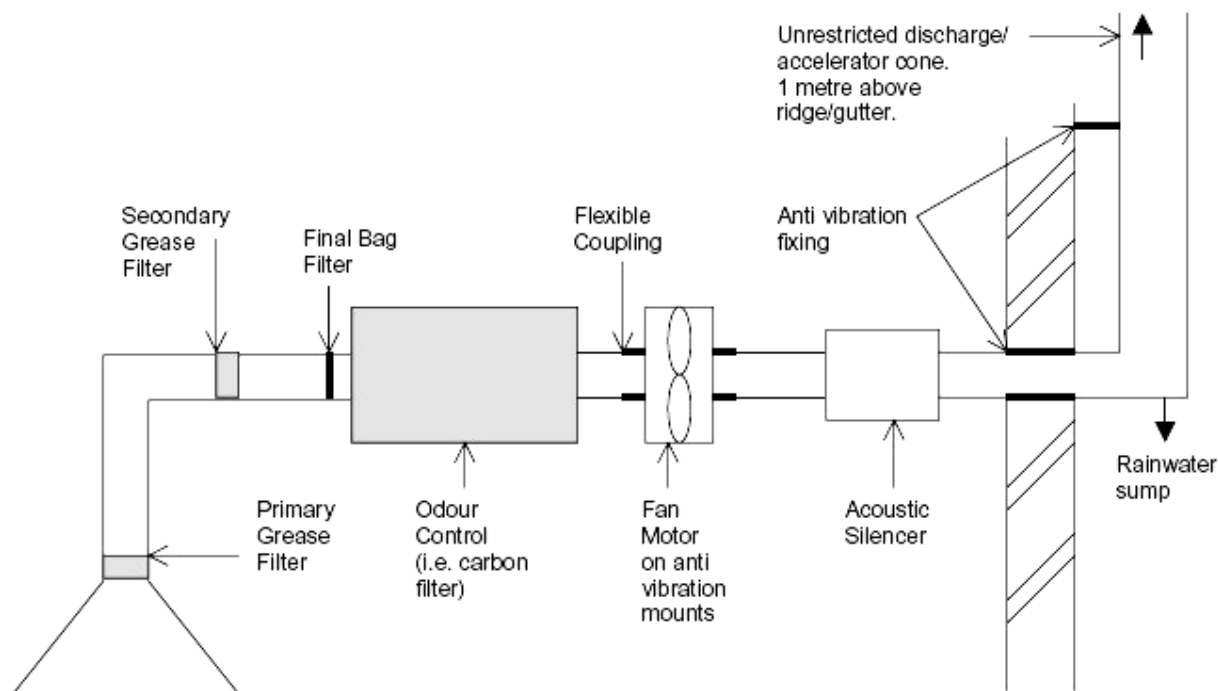
- Инсталирайте и поддържайте филтри за отстраняване на масло и вода от амоняка в такива системи. Замърсителите в амоняка повишават точката на кипене.

- Осигуряване на заключващи се капаци на автоматичния контрол и на термостатите, за да се предотвратят неоторизирани корекции или намеса.

8.4. Вентилация

Вентилацията може да бъде определена като "замяна на застоялия въздух в затворени помещения с "пресен външен въздух чрез специално предвидени отвори, както и през пукнатини и фуги в ограждащите елементи на сградата" (фиг. 8.5).

Тъй като хората прекарват около 90% от времето си в затворени помещения, замърсяването на въздуха в тях може действително да носи по-голям риск за здравето им, отколкото замърсяването на въздуха отвън, дори и в претъпканите градове и индустриални зони. При създаване на енергийно ефективен, херметически изолиран дом чрез техники за запечатване по въздух, е много важно да се разгледа вентилацията. Ако не е добре вентилирана, една херметически затворена къща може да задържи вътре и замърсителите на въздуха. Вентилацията помага също за контролиране на влагата - друг важен фактор за здравословен, енергийно ефективен дом.



Фиг. 8.5. Типична смукателна вентилационна система.

Има два основни подхода за вентилиране на вашия дом, офис или работилница:

- Локална (местна) вентилация - за локални източници на замърсяване;
- Обообменна вентилация - за разреждане на замърсители от източници, които съществуват в различни места или се преместват от място на място.

Местната вентилация използва смукателни вентилатори за събиране и премахване на замърсителите, преди те да се разпространили из сградата. Вентилаторът обикновено е включен само когато източникът произвежда замърсители. Баните, кухните и пералните помещения съдържат очевидни източници на влага и миризми. Местната вентилация е подходяща за домашни офиси, стаи за почивка или за работни срещи.

Вентилаторите на **обообменната вентилация** работят през цялото време, за да се контролира замърсяването от източници, които не могат да бъдат вентилирани локално. Общата вентилация смесва свеж външен въздух с отработения въздух в затворените помещения, за да намали концентрацията на замърсители (да ги разреди). Свежият въздух се доставя от вентилатори, вкарващи външния въздух в къщата, който издухва навън отработения въздух през пукнатините и отворите от къщата.

Обообменната вентилация може да се изпълни по два начина - само смукателна или приточно-смукателна. Който и начин да изберете, необходима е също и местна вентилация в тези места, където се намират силни източници на замърсители като бани и кухни.

Една вентилационна система се състои от следните компоненти:

- Вентилатори
- Филтри и система за почистване на въздуха
- Разпределители на въздух
- Система за контрол
- Отоплителни тела (калорифери)

В допълнение към качеството на вътрешния въздух, вентилацията се използва също и за промишлените процеси.

8.4.1. Принципи на вентилиране

Целта на една добра стратегия за вентилиране е да се осигури баланс между енергийната ефективност и качеството на въздуха в затворени помещения. Това довежда до концепцията *"изграждайте плътно - проветрявайте правилно"*. С други думи - намалете количеството на неконтролирано изтичащия въздух през ограждащите елементи на сградата, след което инсталирайте контролируема система за вентилиране, която да осигури необходимото ниво на вентилация както, където и когато това е необходимо!

Препоръчва се следната стратегия за вентилиране в три точки:

- Смукателна вентилация в "мокри" стаи, където има най-много водни пари и/или се отделят замърсители, напр. кухни, бани, обслужващи помещения и тоалетни. Целта е да се премахнат тези замърсители директно навън и да се сведе до минимум тяхното разпространение в останалата част на сградата.

- Общообменна вентилация в сградата, за да се осигури непрекъснато подаване на свеж въздух отвън и да се разреждат и разпръснат водните пари и замърсители, които или не са отстранени от смукателната вентилация, или се генерират в другите стаи на сградата.

- Прочистващо вентилиране на цялата сграда, за да се подпомогне процеса на отстраняване на високи концентрации на замърсители и водни пари, получени от извънредни дейности като боядисване и декориране. Обикновено в такива случаи, когато е необходимо да се прочисти една стая, се отварят прозорците.

8.4.2. Икономии от подобряване на енергийната ефективност

Приблизително 10% от енергията, необходима в индустрията, всъщност се използва за вентилация. Подробен анализ на вентилационните системи показва, че само 54% от енергията отива за вентилация, което означава, че загубите възлизат на 46%.

Има два основни начина, по които вентилацията "изразходва" енергия. Главният от тях е необходимостта постоянно да се загрява входящия въздух (през отоплителния сезон) и последващите загуби от изтичането му навън, тъй като загревият въздух напуска сградата през специално предвидени отвори или чрез неконтролируеми течове. В допълнение всяка форма на механична вентилация изисква електрическа енергия, за да работи.

Енергийната ефективност на вентилационната система може да се подобри, където е възможно, като се използват устройства за оползотворяване на топлината, ефективни видове мотори на вентилаторите и/или енергоспестяващи контролни устройства [13].

Специфична енергия на вентилатора. Механичните системи се нуждаят от електрическа енергия, за да работят, включително вентилаторите, всеки компресор (и), трансформатор и устройствата за контрол и безопасност. Понятието "специфична енергия на вентилатора" се използва, за да се сравни използватата електрическа енергия за различни вентилационни системи, както са инсталирани.

Специфичната енергия на вентилатора се определя като **консумацията на енергия във ватове на вентилатора (плюс всякакви други допълнителни електрически компоненти на системата), разделена на въздушния поток през системата, във ватове на литър в секунда (W/l/s).**

Една добре проектирана вентилационна система следва да сведе до минимум използването на тази енергия и по-нататък в настоящото ръководство са включенит критерии за механичните системи. В допълнение, по време на инсталирането е важно да се сведат до минимум нежеланите загуби на налягане във вентилационната система. Гъвките ръкави увеличават съпротивлението на потока, затова е важно минимизиране на използваемата им дължина, опъването им и поддържането им максимално стегнати и изправени, с възможно по-малко завои и чупки.

Устройства за регенериране на топлината. Най-използваните устройства за регенерация на топлината в жилищата са от типа "въздух-въздух". Те регенерират топлината от потока отработен въздух и го използват за предварително подгриване на входящия отвън въздух. Ефективността на такава звена се описва с техния "топлинен к.п.д.", т.е. делът отпадъчна топлина, която е полезно възстановена в процеса (обикновено се изразява като процент).

Устройствата за регенериране на топлинната енергия водят до намаляване на количеството енергия, необходимо за загряване на входящия въздух до стайна температура. Трябва винаги да се търси баланс между този благоприятен ефект и необходимата за да управлението на процеса електрическа енергия. Тези системи работят най-добре в херметически затворени домове, където почти цялата вентилация се осъществява чрез топлообменник.

Контролни устройства за спестяване на енергия. Необходимостта от вентилиране на една стая зависи от нивата на замърсяване в нея и, в някои случаи, без значение дали е обитаема или не. Автоматичен контрол може да бъде включен към всички видове вентилационни системи (например сензори за влажност, сензор за включен/изключен, за откриване на влага/замърсител и др.). Контролът намалява нивото на вентилация, ако източникът на замърсяването и/или нивата на замърсяване са ниски и по този начин се пести енергия. Обаче доставчикът на системата трябва да се погрижи при проектиране на системата да се гарантира, че намаляването на нивото на вентилиране поради понижено ниво

на един от замърсителите няма да доведе до повишаване нивото на друг замърсител.

Типични енергоспестяващи мерки и техния потенциал за икономия [11]:

Табл. 8.6. Потенциал на различни енергоспестяващи мерки (ЕСМ).

ЕСМ	Потенциал за икономии
Оптимизация на работния режим	10 - 50%
Управление на оборотите на вентилаторите	5 – 50%
Съответствие на мощността на двигателя с потребността	5 - 20%
Енергийно-ефективни двигатели	2 - 10%
Замяна на ремъчни предавки с директна предавка	5 - 15%
Тръбопроводи и въздуховоди	15%
Редовна техническа поддръжка	5 - 15%

ЕСМ си влияят взаимно (*синергиен ефект*). Ефектът им в пакет не е сума от единичните им ефекти!

8.5. Системи за климатизиране

Според вида на работната среда, пренасяща топлината в обекта, системите за климатизиране може да се класифицират като:

- Системи, обработващи само въздух;
- Системи въздух-вода;
- Системи, обработващи само вода.

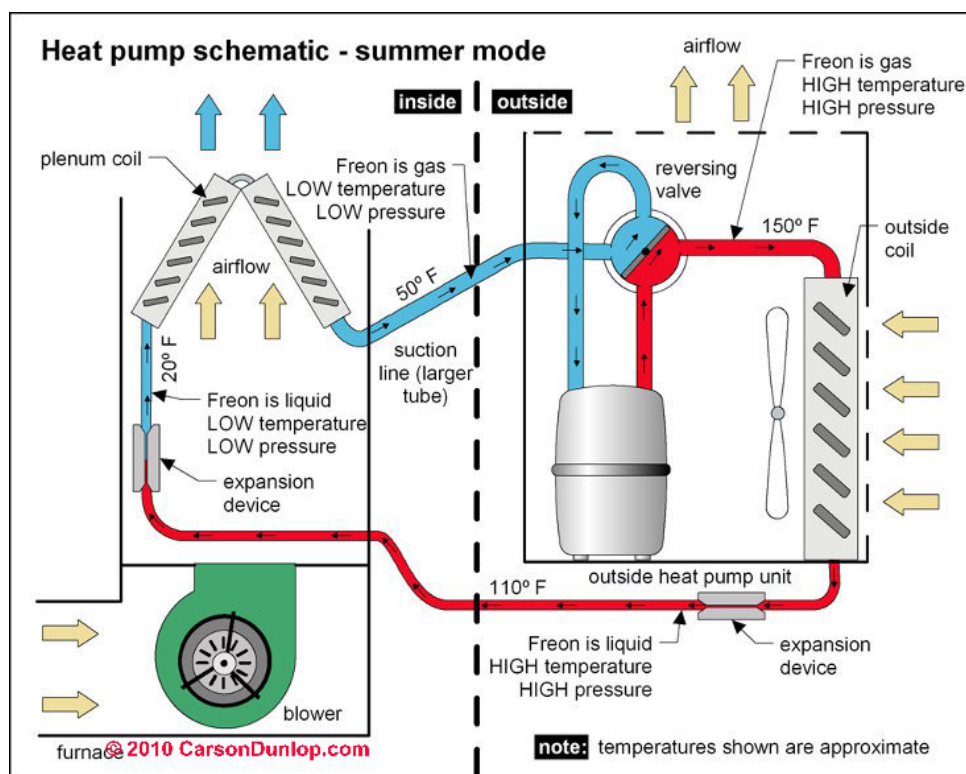
Най-често срещаните видове системи за отопление и охлаждане на сгради са тези, които поддържат умерена температура на въздуха във вътрешното пространство чрез подаване на затоплен или охладен въздух от централен източник чрез мрежа от канали. Тези системи, наречени въздушни, повишават или понижават температурата на околната среда чрез промяна на обема или температура на доставения въздух. Поради факта, че най-важният определящ фактор на топлинния комфорт в топла среда е скоростта на въздуха, повечето сгради, които се нуждаят от охлаждане, използват въздушни системи. Следователно въздушните системи са добър избор, когато се изисква охлаждане.

Въздушните системи предоставят и най-добър контрол на качеството и влажността външния свеж въздух. Допълнително предимство на принудителните климатични системи е, че те често могат да използват външния въздух за охлаждане на интериорните пространства, като в същото време осигуряват отопление за ограничени зони. Предимствата на въздушните инсталации компенсират донякъде енергията, консумирана при дистрибуцията на въздух.

Обикновено се избират въздушни климатични системи, когато е необходимо комфортно охлаждане и за термично натоварени сгради. Това са сгради със значителни вътрешни товари на охлаждане, съвпадащи с

отоплителните им товари, дължащи се на топлинните загуби през сградната обвивка.

Компонентите на една въздушна ОВК система за обработка на въздуха включват вентилатор, радиатор за затопляне и/или охлаждане на въздуха, минаващ през него, филтри за почистване на въздуха и често елементи за овлажняване въздуха. Изсушаване, когато е необходимо, се осъществява чрез охлаждане на въздуха до температура под точката на росата. Климатизиран въздух от системата се доставя в обитаемите помещения от разпределителна мрежа от въздуховоди, а въздухът се връща от климатизираните пространства по паралелна мрежа от връщащи въздуховоди (понякога свободното пространство над окачения таван се използва като част от пътя за връщането на въздуха). Климатичната инсталация включва в системата си от канали и една тръба, която доставя свеж въздух отвън и още една, която може да изхвърли част или целия рециркулиращ въздух навън. Фигура 8.6 изобразява общото разположение на компонентите в една въздушна климатична система.



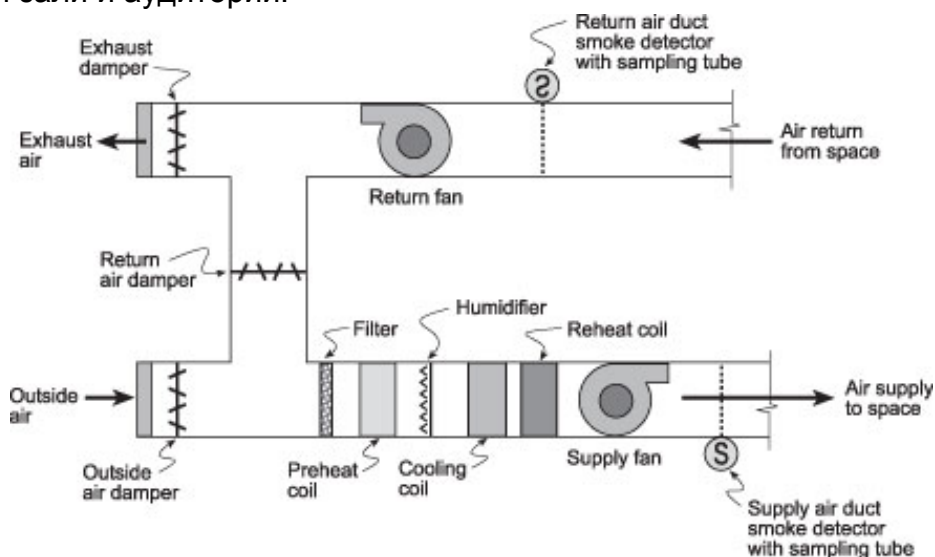
Фиг. 8.6. Елементи на въздушна кондиционираща система.

8.5.1. Еднозонови системи

По-голямата част от въздушните ОВК системи използват единична мрежа от канали, която осигурява непрекъснато подаване на затоплен или охладен въздуха за обитаемите части на сградата. Едноканалната еднозонава система е най-простата от всички ОВК системи. Това е една от най-енергийно ефективните системи, както и една от най-евтините за инсталиране. Тя използва минимално разпределение на енергията, тъй като оборудването обикновено се намира в непосредствена близост до зоната, която се кондиционира. Системата пряко се

контролира от термостат, който автоматично включва и изключва климатика според изискваната температура.

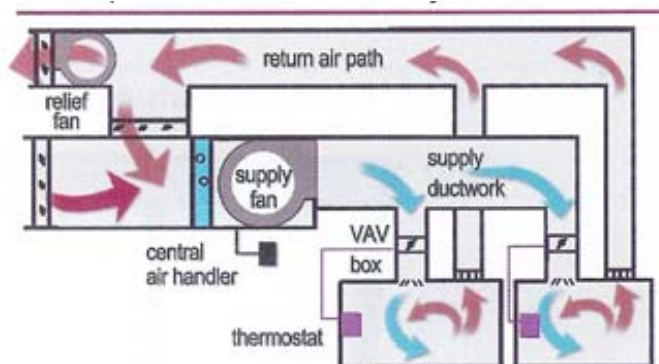
Еднозоновите системи могат както да отопляват или охлаждаат, така и да осигуряват подаване на въздух с постоянен обем и температура за цялата зона, която обслужват. Това ограничава тяхната приложимост за големи открити пространства с много прозорци и постоянни отоплителни и охладителни товари. Типични техни приложения са универсални магазини, заводски помещения, арени, изложбени зали и аудитории.



Фиг. 8.7. Типична еднозонова ОВК система с постоянен обем.

8.5.2. Системи с променлив въздушен обем

Функционирането на една ОВК система с променлив обем на въздуха (Фиг. 8.8) много прилича на това на еднозонова система с изключение на факта, че температурата на отделните зони се контролира от термостат, регулиращ обема на въздуха, който се зауства в пространството. Такава конструкция позволява висока степен на локален контрол на температурата на умерена цена. Разходите за монтаж и експлоатационните разходи са само малко по-големи от тези на еднозоновата система. Консумираната енергия е малко над тази за една зона поради загубите от триене в контролните устройства, както и от факта, че вентилатора трябва да бъде регулиран, за да балансира общите необходими въздушни обеми на системата.



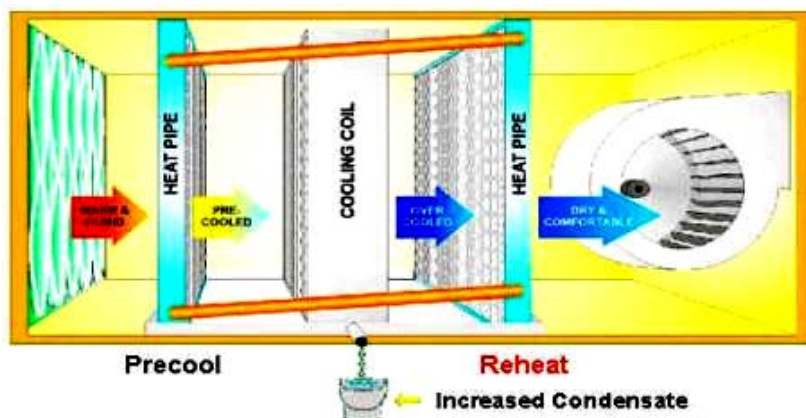
Фиг. 8.8. Компоненти на система с променлив въздушен обем.

За правилното функциониране на системата е необходимо въздухът да постъпва при постоянна температура, обикновено около 13°C. Това изисква непрекъснат контрол на температурата на подавания въздух, придружено с намаляване на ефективността на контрола. Едноканалните климатични системи често могат да предоставят ограничено отопление чрез промяна на стойността на постоянната температура на въздуха в пространството. Чрез намаляване на охлаждащия въздушен поток в пространството се използва топлината, отделяна от осветлението, хората и различните видове оборудване, за да се поддържа необходимата температура. Въпреки това, ако пространството изисква повече топлина, отколкото могат да бъдат доставени от вътрешните топлинни печалби, трябва да бъде включена допълнителна отоплителна система. Едноканалните климатични системи са най-гъвкави и са най-широко използваните от всички системи за отопление и охлаждане на големи сгради. Те са подходящи за почти всяко приложение с изключение на тези, които изискват висока степен на контрол над влажността или обмяна на въздуха.

8.5.3. Регенерационни системи

Системите с регенерация на топлината са разновидност на еднозоновата система. Те осигуряват зонов или пространствен контрол за области с неравномерно натоварване, отопление или охлаждане в гранични зони с различни изложения, строг контрол на работния процес или на зададените параметри за вътрешен комфорт. В регенерационните системи се добавя топлина като вторичен процес или при предварителното кондициониране на първичния въздух, или към върнатия въздух в помещението. Топлоносител може да е гореща вода, пара или да за загряване да се използва електричество.

И еднозоновите, и еднотръбните системи с променлив обем могат да бъдат модифицирани в системи, които осигуряват едновременно отопление и охлаждане на множество зони с добавянето на регенерационни повърхности във всяка зона (Фиг. 8.9). Тези системи са идентични по дизайн на гореизложените системи до точката, където въздухът влиза в локалния работен тръбопровод на всяка зона. В регенерационните системи въздухът минава през регенерационната серпентина, която обикновено съдържа топла вода от бойлер. В по-малко ефикасния вариант може да се използва и електрически реотан. Местни термостати във всяка зона контролират температурата на регенерационните повърхности, като осигуряват отлично регулиране на температурата в обема на зоната.



Фиг. 8.9. Компоненти на регенерационна система.

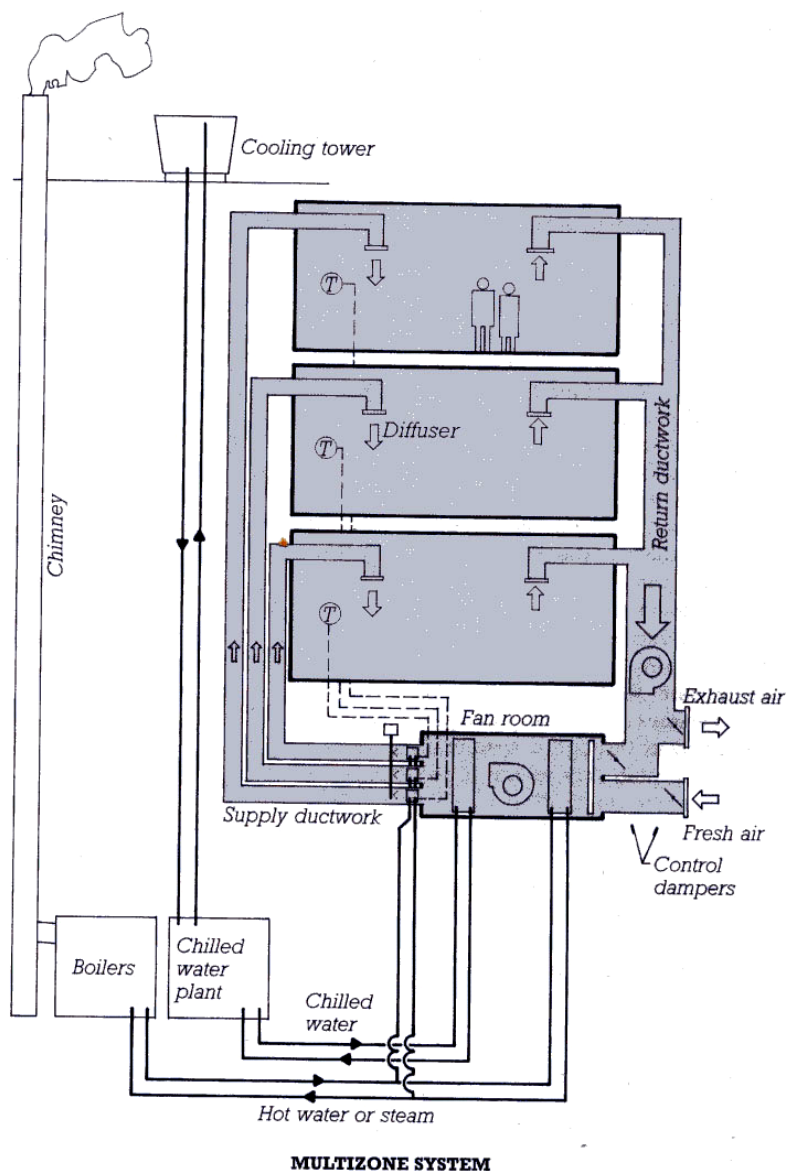
Предимство на такива системи е, че стриктно контролира и поддържа зададените условия. Недостатъци - скъпи за експлоатация.

8.5.4. Многозонови системи

Многозоновата система е всъщност един специфичен вид ОВК система, вариант на еднотръбната регенерационна система. В многозоновата система всяка отделна зона се обслужва от специален канал, който я свързва директно към един централен агрегат за обработка на въздуха (фиг. 8.10).

В най-разпространения вид многозонова система се произвежда топъл въздух при температура от около 38°C, както и хладен въздух с около 13°C, които се смесват в буфери, като необходимата температура на подавания въздух се регулира с термостат. Има вариант на тази система, при който един трети неутрален слой използва външния въздух като економайзер, за да замени топлия въздух през лятото или студения въздух през зимата. В друг вариант системата произвежда само хладен въздух, който се темперира от регенерационно устройство, разположено в камерата на вентилатора. В този случай горещата повърхност може да се използва като регенеративна серпентина.

Многозоновите системи са сред най-малко енергийно ефективните, тъй като притежават присъщата неефективност на смесителните системи, в които енергията се изразходва едновременно за отопление и охлаждане на въздуха. Той се смесва, за да се оптимизира температура на доставяния въздух. Понеже до всяка зона се доставя постоянен обем въздух, трябва винаги да се подава смесен кондициониран въздух, дори когато той не е необходим за отопление или охлаждане. В допълнение, многозоновите системи изискват по-голямо пространство за тръбопроводите в близост до инсталацията, което ограничава броя на зоните. Те също консумират голямо количество енергия за доставка и разпределение на въздуха поради голямото количество постоянен обем, който трябва да покрива обемните натоварвания.



Фиг. 8.10. Компоненти на многозонова система.

9. Водни системи и системи за сгъстен въздух

9.1. Водни системи за отопление и охлаждане

Въздухът не е подходяща среда за транспортиране на топлина. Водата може да се използва за транспортиране на топлинна енергия едновременно в отоплителни и в охладителни системи. Водата може да се нагрява в котел до температура (70 - 120)°C или да се охлажда от чилър до (40 - 10)°C и да се пренесе през сградата по тръбопроводи до терминални устройства, които приемат или извличат топлинна енергия, обикновено чрез топлообменници. Парата също може да се използва за транспортиране на топлинна енергия. Парата осигурява голямата част от енергията си чрез освобождаване на латентната топлина на изпаряване (около 2.3 джаула/кг). По този начин една единица маса пара произвежда толкова отопление, колкото се произвеждат от петдесет единици

вода с 11°C температурна разлика. Въпреки това, когато водата се изпарява, тя се разширява по обем повече от 1600 пъти.

Водоразпределителните системи осигуряват гъвкаво зониране за по-удобно отопление и охлаждане. Имат сравнително нисък разход за инсталиране в сравнение с въздушните системи. Минимално необходимото пространство за тръбопроводното разпределение ги прави отличен избор за модернизация на инсталациите в съществуващи сгради или в сгради със значителни пространствени ограничения. Недостатък на тези системи е, че тъй като няма вентилация на въздуха, водоразпределителните системи осигуряват малък или никакъв контрол над качеството на въздуха и влажността и не могат да се възползват от някои от подходите за съхранение на енергията на въздушните системи.

Водоразпределителните тръбопроводни системи се класифицират по броя на тръбите, с които са свързани с всяко колекторно устройство, и биват:

- **Еднотръбна система:** използват най-малко тръби чрез последователно свързване на всички отоплителни тела в поредица от цикли. Тъй като водата преминава през всеки топлообменник в системата, способността му за отопление или охлаждане прогресивно намалява с увеличаване на разстоянието от котела или чилъра. Термичният контрол е малък и ефективността на системата е ниска.
- **Двутръбните системи** имат тръба за доставяне и тръба за връщане до всеки топлообменник, които са свързани успоредно, така че всеки елемент/зона да може да се възползва от подаваната топлина толкова, колкото ѝ е необходимо. Ефективността и термичният контрол са високи, но системата не може да осигурява отопление в една зона и едновременно да охлажда друга.
- **Тритръбните системи** използват отделни тръби за отопление и охлаждане, но имат само една обща тръба за връщане. Смесването на гореща вода (около 60°C) с върнатата охладена вода при 13° C е крайно неефективно и изразходва допълнителна енергия, необходима да загрее или охлади отново тази вода. Такива системи трябва да се избягват.
- **Четиритръбните системи** разполагат с тръба за доставка и връщане както на топлата, така и на студена вода, което позволява едновременното отопление и охлаждане с относително висока ефективност и отличен термичен контрол. Разбира се, тяхната инсталация е най-скъпа, но все пак са по-евтини в сравнение с въздушните системи.

Дадено съоръжение може да има няколко вида водни системи – няколко системи, свързани с производствени нужди и няколко системи за други нужди (питейна вода, битова гореща вода). Каквато и да е тяхната функция, водните системи често са неефективни и предлагат възможности за енергиен мениджмънт. Загубите на вода са подробно описани в дадената по-долу таблица.

Таблица 9.1. Количество на водните загуба от течове [10].

Течове	Дневна загуба	Месечна загуба	Годишна загуба
Една капка/секунда	4 L	129 L	1.6 m ³
Две капки/секунда	14 L	378 L	4.9 m ³
Капки в струя	91 L	2.6 m ³	31.8 m ³
струя 1.6 mm	318 L	9.4 m ³	113.5 m ³
струя 3.2 mm	984 L	29.5 m ³	354.0 m ³
струя 4.8 mm	1.6 m ³	48.3 m ³	580.0 m ³
струя 6.4 mm	3.5 m ³	105.0 m ³	1 260.0 m ³

Енергийните разходи в работещи водни системи може да бъдат намалени, ако се обърне внимание на следните области:

- установяване и премахване на течове;
- проучване на модели за използване на водата и намаляване на потреблението до необходимия минимум;
- прилагане на повторна употреба и рециркулация на затоплянето и охлаждането на водата;
- намаление на загубите при триене и свързаните с тях спадове на налягането;
- намаление на топлинните загуби от системите за гореща вода и от охладителните системи;
- правилен избор и размер на помпите и намаление на оперативното време за работа.

Охлаждащата водна система трябва да бъде проектирана да рециркулира вода през охладителна кула или през термopомпена система със земен източник, така че водата да може да бъде повторно използвана, вместо да се изхвърля само след едно преминаване. Това драстично ще намали разходите за вода, обработката и връщането ѝ обратно в канализацията. Трябва да се оцени икономически използването на охладителна кула или термopомпена система със земен източник в дългосрочна перспектива. Вземете под внимание разходите за електроенергия, за да работят помпите, за пречистването на водата и допълнителната вода, за да се компенсира изпарението и изпускането от сепараторния съд, както и разходите за поддръжка.

Тръбите, пренасящи гореща или студена вода, трябва да бъдат добре изолирани, за да се избегне загубата на топлина или студ. Охладителната водопроводна система също трябва да има подходяща топлоизолация, за да се избегне кондензацията.

Водните помпи трябва да се изключват, когато обслужваните от тях системи не работят. Тази мярка ще намали разходите за електроенергия за изпомпване, а в случаите на охлаждане на вода - разходите за обработване на водата. Цедките и филтрите трябва да се проверяват редовно, за да се гарантира, че те не са запушени. Запушените филтри причиняват загуби в налягането на тръбопровода. За да се предотвратят загубите на вода

проверявайте често тръбите и навременно ремонтирайте течовете, намалете и изпарението от резервоарите чрез инсталиране на капаци.

9.2. Системи за сгъстен въздух

9.2.1. Въведение

Сгъстеният въздух е енергиен носител, широко използван в много индустриални процеси. Главните области на неговото приложение са:

- в химическата промишленост – за получаване на азот и кислород от въздуха, за синтез на амоняк, бензин и др.;
- в енергетиката – за подаване на въздух в газовите турбини и др.;
- в металургията – за подаване на въздух и кислород в пещите;
- в машиностроението, минната и строителна промишленост – за пневматични инструменти и машини (преси, чукове, перфоратори и др.);
- в транспорта (автомобилен, железопътен, авиацията) – за пневматичното управление и за спирачки, за пускане на двигателите и др.

Сгъстеният въздух може да се използва в следните 3 разновидности:

- Активен сгъстен въздух - използва се за транспортиране (напр. на стоки или суровини);
- Сгъстен въздух за обработка – той се използва за различни производствени процеси, за изсушаване и вентилация и др.;
- Вакуумен въздух, т.е. с понижено налягане спрямо атмосферното, използва се за пакетиране и позициониране.

Предимствата на сгъстения въздух са в това, че е чист, нетоксичен, безопасен (в известна степен) и че може да се съхранява като такъв.

Установено е, че разходите за получаване на сгъстен въздух са високи и достигат до 10% от потреблението на електрическа енергия в едно предприятие.

9.2.2. Видове компресори и компресорни системи за сгъстен въздух

Машините, предназначени за преместване и сгъстяване на газове, са:

- **компресори** – служат за сгъстяване на въздух или други газове при отношение на налягането $\epsilon > 1,1$. Компресорите, работещи при сравнително ниски ϵ (до 2,5 - 3) и без охлаждане на газа в процеса на неговото свиване, се наричат въздухо-газодувки;
- **вентилатори** – при тях $\epsilon < 1,1$;
- **вакуумпомпи** – за създаване на разреждане на газовата среда.

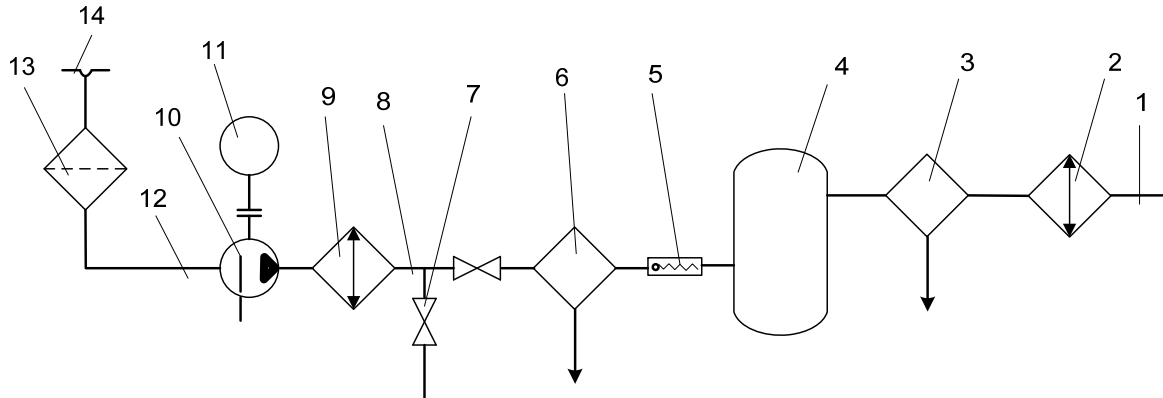
В зависимост от принципа си на действие компресорите биват:

- **обемни** – към тях се отнасят буталните компресори с възвратно-постъпателно движение на буталото и различни видове роторни компресори;
- **турбокомпресори** – към тях се отнасят центробежните и осеви компресори.

Сигурна работа на компресорите е възможна при нормално действие на спомагателната апаратура: смукателни въздушни филтри, междинни и крайни охладители, водо-маслоотделители, въздушни резервоари, предпазни клапани,

маслени охладители, изсушители на въздуха, филтри за поемане на влагата на въздуха, система от тръби, и др. Всички те образуват една типична система за сгъстен въздух.

На фиг. 9.1. е показана една принципна схема на въздушна компресорна станция



Фиг. 9.1. Принципна схема на въздушна компресорна станция:

1 - магистрална тръба за сгъстен въздух; 2 – краен охладител на сгъстения въздух; 3 - водо-маслоотделител; 4 – нагнетателен въздушен резервоар ресивер); 5- обратен клапан; 6 - водо-маслоотделител; 7 - спомагателна тръбна система; 8 - нагнетателна тръбна система; 9 – междинен охладител на въздуха; 10 – компресор; 11- двигател; 12 – смукателна тръба; 13 - смукателен филтър;14 - смукателна камера.

Двигателят 11 може да е електрически или двигател с вътрешно горене..

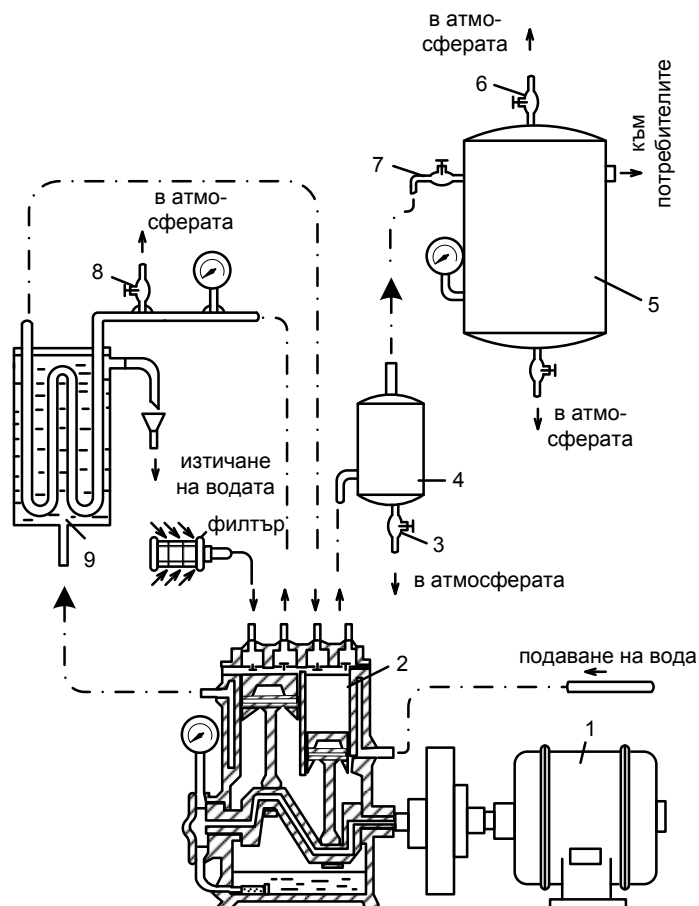
Компресорът се включва в действие на празен ход, когато шибърът е отворил спомагателната тръба 7 към атмосферата, а шибърът на нагнетателната тръба 8 е затворен.

При компресорни станции с турбокомпресори към нагнетателната тръбна система 8 се включва обратен клапан 5. Той не позволява на сгъстения въздух да се връща от нагнетателния резервоар 4 към компресора 10, когато последният не работи.

След нагнетателния въздушен резервоар 4 е включен водо-маслоотделителят 3. Той отделя допълнително кондензираната се влага в сгъстения въздух.

Когато е необходимо към консуматорите да се подава напълно изсушен въздух, то в началото на магистралната нагнетателна тръбна система 1 се включва изсушител.

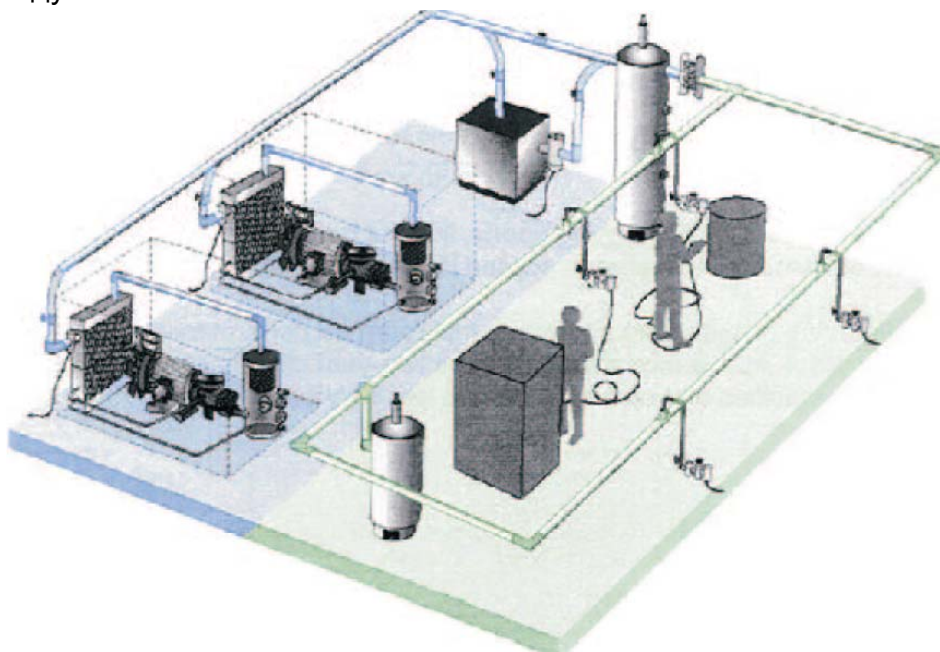
На фиг. 9.2. е показана разгърнатата схема на еднокompресорна уредба



Фиг. 9.2. Разгърната схема на еднокомпресорна уредба:

- 1 - електродвигател; 2 – компресор; 3 – разтоварващ вентил; 4 – маслотделител;
5 – ресивер; 6 и 8 – предпазни клапани; 7 – обратен клапан; 9 – охладител.

На фиг. 9.3 са показани компонентите и мрежата на типична система за сгъстен въздух.



Фиг. 9.3. Компоненти и мрежа на типична система за сгъстен въздух

9.2.3. Ефикасна работа на системите за сгъстен въздух

По-долу е направен анализ на някои елементи от принципната схема на въздушна компресорна станция и тяхното въздействие върху ефективността на работата ѝ, а с това и върху икономията на консумираната енергия за задвижването на компресора.

Работата на компресора като „дишаща машина” се подобрява когато постъпващият в него въздух е свеж, чист и сух.

Местоположението на компресорите и качеството на всмуквания въздух оказват голямо влияние върху количеството на консумирана енергия за производството на сгъстен въздух.

9.2.3.1. Смукателни камери и филтри

Очистването на засмукания въздух или на друг газ от механични примеси е важно условие за дълготрайната и икономична работа на компресорната станция.

Освен водни пари, атмосферният въздух винаги съдържа и твърди частици (прах, пясък, продукти от корозия на тръбите и др.). Преминавайки през елементите на компресорната станция те ускоряват бързото механично износване на цилиндрите, слепването на клапаните и влошаването на топлообмена, тъй като полепват върху омаслените повърхнини на компресора, тръбната система и въздушните резервоари.

За да не става описаното се използват въздушни филтри. Те трябва да имат голям капацитет за отделяне на насъбрания се в тях прах, да осъществяват ниски спадове на налягането и здрава конструкция, за да се избягват честите почиствания и подмяната им.

При компресорни станции с малък и среден дебит има само смукателен филтър 13 (виж. Фиг. 9.1). Той е метален. При станции с голям дебит, освен смукателен филтър 13, се използва и смукателна камера 14. Тези камери се изработват от бетон.

Смукателните въздушни филтри трябва да се инсталират възможно най-близо до компресора. Установено е, че при спад на налягането по смукателния път (поради запушени филтри и т.н.) с 250 mm воден стълб, се увеличава консумацията на електрическа енергия с 2%, за да се поддържа същият изходящ продукт. Затова се препоръчва редовно почистване на смукателните камери и филтри. За тази цел следва да се наблюдават манометрите и другите измервателни уреди за налягане, за да се планира почистването на входната арматура.

Смукателните филтри трябва да се монтират извън сградата на компресорната станция и то в местата, където въздухът е най-малко запрашен и има най-ниска температура.

В най-общия случай компресорната станция трябва да е така ориентирана, че смукателните камери и филтри да са монтирани към северната страна на сградата, където въздухът е по-студен. Емпирично е установено, че при повишаване на температурата на входящия въздух с 4°C консумацията на

енергия се повишава с 1%. Следователно приемът на хладен въздух води до по-ефикасната му компресия – табл. 9.2.

Таблица 9.2. Ефект на входящата температура на въздуха върху енергопотреблението

Входяща температура, °C	Относително снабдяване с въздух, %	Спестена енергия, %
10.0	102.0	+ 1.4
15.5	100.0	Nil
21.1	98.1	- 1.3
26.6	96.3	- 2.5
32.2	94.1	- 4.0
37.7	92.8	- 5.0
43.3	91.2	- 5.8

9.2.3.2. Смукателни тръби

Те трябва да отговарят на следните условия:

- а) да имат възможно най-малка дължина и възможно най-малък брой колена;
- б) да не бъдат изложени на топлинно въздействие (напр. слънчево). Когато това е невъзможно, смукателните тръби следва да са с топлинна изолация;
- в) да бъдат закрепени неподвижно върху каучукови тампони, за да се погасяват възникналите у тях вибрации;
- г) дължината на тръбната система трябва да е така подбрана, че да се избягва явлението резонанс, при което амплитудите на колебание на налягането се увеличават.

Установено е, че вследствие на пулсациите на налягането в тръбната система на буталните компресори може да се намали дебитът им до 15%, а разходът на елетрическа енергия да се увеличи с 20%. Възникналите при това вибрации водят до преждевременно износване на тръбните връзки и до създаване на значителен шум при работа на компресора.

9.2.3.3. Охладителна система на компресорите. Междинни и крайни охладители

Известно е, че при съгъстяване газът (въздухът) увеличава температурата си. В охладителното пространство (водната риза) на компресора съгъстяваният газ не може да бъде охладен до необходимата температура. Затова при многостъпалното съгъстяване между отделните стъпала на компресора се

включват междинни охладители (№ 9 от фиг. 9.1.), а на изхода – краен охладител (№ 2 от фиг. 9.1.).

Охлаждането на газа в компресора намалява температурата на стените на цилиндрите му, при което:

а) намалява се температурата на клапаните, а с това и образуването на нагар по повърхнините им;

б) забавят се процесите на окисляване на маслото, мажещо цилиндрите на компресора;

в) намалява се температурата на детайлите на компресора, при което якостните им качества не се понижават съществено;

д) намалява се разходът на енергия за сгъстяване на газа.

Повечето индустриални компресори са с водно охлаждане, в които топлината от сгъстяването се отстранява чрез циркулиране на студена вода в цилиндрични глави, междинните охладители и в крайните охладители.

Междинните и крайни охладители за налягане до 3.0 МПа са кожухотръбни. При това охлаждащата вода протича през тръбите на тръбен сноп, а охлажданият газ - около тях. При наляганя, по-големи от 3.0 МПа, се използват охладители „тръба в тръба“. При високи наляганя газът протича през вътрешната тръба, а охлаждащата вода в пространството между двете тръби. При ниски и средни наляганя газът протича в пространството между двете тръби, а охлаждащата вода - през вътрешната тръба.

Охлаждането в междинните и крайните охладители се извършва най-често с вода, а при малките компресори с въздух. При малките и средни компресори течащата вода протича еднократно през охладителната система.

При компресорни станции с голям дебит се използват циркулационни охладителни системи, при които загрялата в охладителните системи вода се охлажда в охладителни кули и басейни до първоначалната ѝ температура. След това охладената вода се връща обратно в компресорите.

На изхода на охладителите температурата на охлаждащата вода не трябва да бъде по-висока от 40°C. При по-висока температура значително се увеличава и отлагането на котлен камък по охладителните повърхнини. Температурата на изходящия от охладителя сгъстен въздух не трябва да превишава температурата на водата с повече от 20°C.

Недостатъчното охлаждане на въздуха в междинните охладители не намалява дебита на компресора, но значително понижава общия к.п.д. на компресора. Всяко повишаване на температурата на въздуха след междинен охладител с 6°C, повишава разходът на електроенергия с 1%.

Увеличаване на дебита на охлаждащата вода над определените граници не подобрява съществено охлаждането, но се увеличава изразходваната електрическа енергия от помпената станция.

Количеството вода, което се подава в охладителната система на компресора, се определя от условието водата на изхода на охладителя да не се нагрива с повече от (10 - 15)°C.

В табл. 9.3 са показани средните стойности на разхода на вода (ℓ/min) на 1 m³ засмукан въздух при различни температури на нагряване на водата (5, 10, 15)°C.

Таблица 9.3. Разход на вода (ℓ/min) на 1 m³ засмукан въздух при различни температури на нагряване на водата

Вид на компресора	Налягане на изхода, МРа	Разход на вода (ℓ/min) на 1 m ³ засмукан въздух при различни температури на нагряване на водата		
		5°C	10°C	15°C
-	-			
<i>Компресори за ниско налягане</i>	0,6	15	7	5
	0,7	16	8	5
<i>Компресори за ниско налягане</i>	2,5	25	13	9
	4,0	30	15	10
	5,0	30	15	10
<i>Компресори за високо налягане</i>	5,0	35	17	11
	7,0	38	19	12
	10,0	40	20	13
	19,6	48	24	16

Производителността на системата за производство на сгъстен въздух зависи от ефективността в междинните и крайни охладители. Те от своя страна са зависими от охлаждащия воден поток и температурата му. Освен това, неправилното третиране при водно охлаждане може да доведе до увеличаване на всички разтворени твърди вещества (РТВ). На свой ред те могат да доведат до котлен камък в топлообменниците. Котленият камък действа не само като изолатор, намаляващ преноса на топлина, но увеличава и пада на налягането в охладителната система за изпомпване на охлаждащата вода. Затова за охлаждане трябва да се използва пречистена вода или тя периодично да се пречиства. Така РТВ се поддържат в приемливи граници. Добре е нивото на рН на водата да се поддържа чрез прибавяне на химикали, както и да се избягва появата на микроби чрез добавяне на фунгициди.

9.2.3.4. Водно-маслоотделители

В зависимост от относителната влажност на атмосферния въздух, той винаги съдържа определено количество водни пари. При това те са повече при влажно време. Количеството на водните пари ще бъде по-високо, ако смукателите са разположени във влажна зона, напр. в близост до охладителните кули, или там, където излизат газовете от изсушителите.

От друга страна при охлаждане на газа в междинните и крайни охладители водните му пари кондензират, като се отделят във вид на вода. Заедно с тях се отделя и част от маслото, използвано за мазане на цилиндрите на компресора. Кондензатът и маслото създават условия за по-бързото износване на съоръженията на компресорната станция, а с това и за увеличаване на консумацията на електрическа енергия.

Отделянето на кондензираната влага и масло се извършва във водо-маслоотделители. Те представляват съдове, в които газът, носещ водните капчици и масло, променя посоката на движението си. Така, под въздействие на инерционните сили, те се отделят от газа и се стичат в дъното на съда. От там се отстраняват чрез периодично продухване.

Обемът на водо-маслоохладителите $V_{\text{ВМО}}$ се определя по формулата:

$$V_{\text{ВМО}} \geq (2 - 3) \cdot V_{\text{к}}, \quad (9.1)$$

където $V_{\text{к}}$ е работният обем на компресора.

За да се намалят силите от триене, загубата на мощност, както и температурата на триещите се части на компресорите, детайлите им трябва да се мажат с минерални вещества. Така се намалява износването им, а с това консумираната електрическа енергия.

9.2.3.5. Експлоатация на въздухопроводите

Въздухопроводите следва да се монтират с наклон по посока на движението на съгъстения въздух, не по-малък от 0.005.

При протичане на съгъстения въздух към консуматорите температурата му постепенно намалява. В резултат на това се получава непрекъсната кондензация на газообразна влага. Тя затруднява нормалната работа на въздухопроводите и особено на пневматичните устройства. Това налага чести продухвания, свързани с непрекъснати загуби на съгъстен въздух.

При отрицателни температури кондензираната влага, която се натрупва в най-ниските части на тръбната система, замръзва и намалява активното им сечение. Така се намалява и дебитът на въздух към потребителите.

9.2.3.6. Изсушителни инсталации

За избягване на вредното влияние на влагата при компресорите със средно и високо налягане се използват специални изсушители на въздуха. Най-ефективно е в тях да се използват абсорбционни вещества като силикагел, алумогел и др. силицеви съединения. Тези вещества, освен че имат голяма водоплъщателна способност, са твърде икономични и могат да се регенерират многократно.

Увеличаването на надморската височина, където са монтирани компресорите, води до консумиране на повече енергия, за да се постигне определеното налягане на съгъстения въздух, тъй като се изисква по-висока степен на съгъстяване, а с това и по-вече консумирана електрическа енергия. Интерес в това отношение представлява монтирането на вентилатор, чиито ветрен поток е насочен към смукателя на компресора.

9.2.4. Компресорна модулация при оптимални параметри в налягането

Много често в едно производство различни по мощност и изработка компресори са свързани в обща въздухопреносна мрежа. В такива ситуации изборът на правилната комбинация от работещи компресори и оптимална модулация на различните компресори може да спести енергия. Когато повече от

един компресор захранва общ колектор, компресорите трябва да бъдат експлоатирани по такъв начин, че разходите за генериране на съгъстен въздух да са минимални:

- ако всички компресори са подобни, настройката им по налягане може да се направи така, че само един от тях да поема различното натоварване, а другите да работят на постоянен режим с пълно натоварване.

- ако компресорите са с „различни размери”, то датчиците им трябва да бъдат настроени така, че само най-малкият компресор да може да модулира (да варира с дебита си).

Ако на определени места има изискване за ниско налягане на въздуха, то е препоръчително да се генерират отделно ниското и високо налягане на въздуха и да захранват съответните зони, вместо да се намалява налягането чрез редуциране, което неизменно води до загуба на енергия. Използването на вентилатор, който е проектиран за експлоатация на по-ниско налягане, би консумирал само една малка част от енергията, изразходвана за получаване на съгъстен въздух.

Загубата на налягането поради неправилно подбрани размери на тръбите, запушени филтърни елементи и съединения, е пример за похабяване на енергия. Обикновено приемлив спад в налягането в индустриалната практика е 0,3 bar в най-отдалечената точка на мрежата и 0,5 bar в разпределителната система.

В много инсталации използването на въздуха е с прекъсвания. В този случай трябва да се направи автоматичен On/Off (Пуск/стоп) контрол, с който компресорът се пуска или спира чрез превключвател за налягане, който се активира при вариации на необходимото количество въздух. Това е много ефикасен метод за контролиране на капацитета на компресора, защото се елиминират загубите, получаващи се при празен ход на двигателя, тъй като той се изключва при достигане на зададеното налягане. Този контрол е подходящ за малки компресори.

Буталните компресори с голям капацитет обикновено имат контрол на няколко фази. При това тяхното натоварване може да се осъществява в поредица от стъпки, (100%, 75%, 50%, 25% и 0%), т.е. от пълно натоварване до нулево такова. Така се намалява и консумацията на електрическа енергия - табл. 9.4.

Таблица 9.4. Консумация на мощност на типичен бутален компресор с различно натоварване.

Натоварване, %	Консумация на мощност като % от пълното натоварване
100	100
75	76 – 77
50	52 – 53
25	27 – 29
0	10 - 12

Неправилното управление на компресорите и допълнителното им обзавеждане може да увеличи разходите на енергия с 20% или повече.

9.2.5. Определяне на количеството на изтичащия въздух и загубите на енергия

Най-добрата възможност за пестене на енергия е предотвратяване на течовете на въздух от системата за сгъстен въздух. Те се появяват при въздушните приемници, предпазни клапани, тръби и шлангове, изключващи клапани, бързо освобождаващи съединители, инструменти и друго обзавеждане. В повечето случаи загубите на въздух се дължат на лоша поддръжка, а понякога на неправилна инсталация и др.

По-долу е показана последователността при количествено установяване на течовете на въздух:

- Изключват се съоръженията за сгъстен въздух (или се тества системата, когато нито едно съоръжение не използва системата за сгъстен въздух);
- Пуска се компресорът да зареди системата със сгъстен въздух и се настройва работата му по налягането;
- Установяват се времената на циклите „натоварване” и „разтоварване” на компресора. За по-голяма точност се извършва включване и изключване последователно в продължение на (8 - 10) цикъла. След това е пресмята общото време на работа (T) и времето за разтоварване (t).
- Изтичанията в системата се калкулират по следния начин:

$$\text{изтичане (теч) на газ} = T/(T+t) \times 100 \% \quad (9.2)$$

$$\text{специфично изтичане на газ} \quad q = T/(T + t) \times Q, \text{ m}^3/\text{min} \quad (9.3)$$

където: Q е разходът на компресора, m³/min; T – времето за натоварване на компресора, min; t – времето за разтоварване, min.

Пример: Тестът за изтичане на въздух в индустриалния процес дава следните резултати:

Капацитет (разход) на компресора, Q = 35 m³/min;

Мощност на компресора при работа под товар = 188 kW;

Мощност на компресора при работа без товар = 54 kW;

Средно време за натоварване, T = 1.5 min;

Средно време за разтоварване, t = 10.5 min.

Коментар за изтеклото количество въздух и предотвратимата загуба на мощност, свързана с него:

а) Изтекло количество съгласно (9.3) е: $q = \frac{1.5}{(1.5 + 10.5)} \times 35 = 4.375 \text{ m}^3 / \text{min}$

б) Изтекло количество на ден = $4,375 \times 24 \times 60 = 6\,300 \text{ m}^3 / \text{ден}$

в) Консумирана специфична енергия за генериране на сгъстен въздух = $188 \text{ kW} / (35 \times 60) \text{ m}^3 / \text{h} = 0,0895 \text{ kWh} / \text{m}^3$.

г) Енергийната загуба, дължаща се на изтичания $\Delta E = 0,0895 \times 6\,300 = 564$ kWh/ден

9.2.6. Икономия на електрическа енергия при експлоатация на компресори

При използване на компресорите разходът на електрическа енергия може да се намали, когато се извършва:

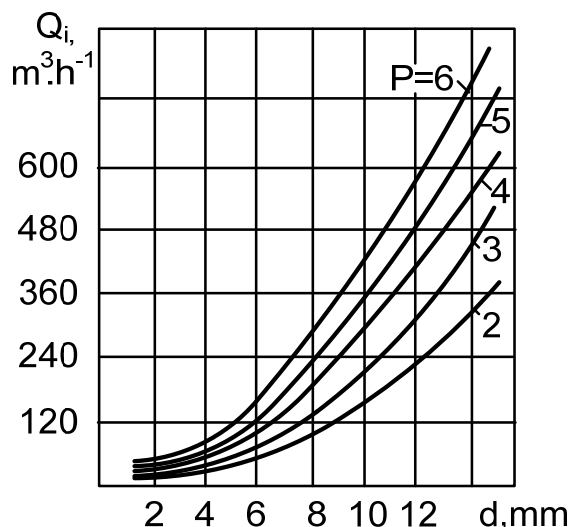
1. Системен контрол за откриване и отстраняване на изтичане на сгъстен въздух по въздушната мрежа. Големината на тези изтичания зависи от налягането p в мрежата и диаметъра d на отвора – фиг. 9.4., а разходът на електрическа енергия ΔE в kWh за тях се определя по:

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \omega \cdot t, \quad (9.4)$$

Където: Q_i е разходът на въздух, определен по графиките на фиг.9.3. за i -и отвор, $m^3 \cdot h^{-1}$;

ω – специфичният разход на електрическа енергия за производство на $1 m^3$ сгъстен въздух, $kWh \cdot m^{-3}$;

t – времето, през което въздушната мрежа се намира под налягане, h.



Фиг. 9.4. Графики за определяне разхода на въздух през отвори във въздушната мрежа с диаметър d и налягане на въздуха P

2. Направа на топлоизолация на въздухопреносната мрежа. Това е ефективно средство за икономия на електрическа енергия, тъй като когато въздухът е с повишена температура (той се разширява), намалява се неговата относителна консумация (разходът на въздух), а с това и разходът на електроенергия за неговото производство.

Икономията на електроенергия ΔE в kWh за една година от топлоизолацията на въздухопроводите може да се намери по:

$$\Delta E = \beta \cdot Q \cdot \omega \cdot t \cdot \Delta \theta, \quad (9.5)$$

Където: β е коефициентът на обемното разширение въздуха (за газове като въздуха може да се приеме $0,00366 \frac{1}{^\circ K}$), $^\circ K^{-1}$;

Q – разходът на въздух, $m^3 \cdot h^{-1}$;

ω – както в (9.4.);

t – годишната часова използваемост на компресорната уредба, h;

$\Delta\theta$ – средногодишната разлика на температурата на сгъстения въздух след и преди направа на топлоизолация на въздухопровода, $^\circ C$.

Други начини за икономия на електрическа енергия са:

- подмяна на пневмоинструментите (пробивни, шлифовъчни и др.) с електрически. Така се получава икономия на електроенергия с около (7 - 10)%;
- подобряване на експлоатацията на компресорните уредби, включително и осъществяване на правилното им охлаждане. Охлаждането се смята за добро, когато температурата на охлаждащата вода, излизаща от компресора, е (20 - 40) $^\circ C$ и др.

9.2.7. Списък на мероприятия за проверка за енергийна ефективност в система за сгъстен въздух

За практически нужди може да ползва разработения в [8] примерен списък на дейности за намаляване на енергийните разходи в компресорните системи:

- Уверете се, че входящият въздух в компресора не е топъл и влажен, като поставяте компресора в добре проветриво място или чрез внасяне на студен въздух отвън. Знайте, че на всеки $4^\circ C$ повишаване на температурата на входящия въздух потреблението на енергия ще се увеличи с 1%.
- Почиствайте редовно филтрите за входящ въздух. Ефективността на компресора ще бъде намалена с 2% за всеки 250 mm воден стълб спад в налягането на филтъра.
- Клапаните на компресора трябва да се поддържат в добро състояние чрез инспектиране веднъж на всеки шест месеца. Амортизираните клапани могат да намалят ефективността на компресора с около 50%.
- Инсталирайте манометри във филтъра и наблюдавайте спада в налягането, за да се информирате дали е необходима подмяна на елемент.
- Минимизирайте ниското натоварване при работа на компресора, ако необходимостта от сгъстен въздух е по-малка от 50% от капацитета (разхода) на компресора. Обмислете употреба на по-малък компресор или намаляване на скоростта на компресора в случай на компресори, задвижвани с ремъчна предавка.
- Обмислете използването на регенеративни изсушители на въздуха, които използват топлината на сгъстения въздух, за отстраняване на влагата.
- Замърсените охладители намаляват ефективността на компресора и причиняват по-голяма кондензация на водата във въздушните приемници и

разпределителните линии, в резултат на което се повишава корозията. Междинните охладители трябва да се почистват периодично.

- Ако повече от един компресор захранва въздухопроводната система, компресорите трябва да бъдат експлоатирани по такъв начин, че само един малък компресор трябва да се справя с натоварващите вариации, докато другите компресори работят при пълно натоварване.
- Възможностите за оползотворяване на топлината от горещия сгъстен въздух за генериране на горещ въздух или вода за други процеси трябва да бъдат икономически анализирани, ако компресорите са големи.
- Обмислете използването на двустепенни или многостепенни компресори, тъй като те консумират по-малко енергия за същото количество произведен въздух, отколкото един едностепенен компресор.
- Ако изискванията за налягане при процесите са много различни (например 3 bar, 7 bar), е препоръчително да имате две отделни тръбни системи за сгъстен въздух.
- При възможност намалете налягането на компресора при доставката на сгъстен въздух, за да пестите енергия.
- Запазете възможно най-малкия диапазон между натоварване и разтоварване в настройките на налягането.
- Автоматично контролиран таймер за дренаж губи сгъстен въздух всеки път, когато клапанът се отваря. Ето защо честотата на включването за дренажа трябва да бъде оптимизирана.
- Изтичане на сгъстен въздух от порядъка на (40 - 50)% не е необичайно. Извършвайте периодични тестове за течовете, за да оцените количеството им.
- За предпочитане е тръбната система за сгъстен въздух да бъде изпълнена като основен пръстен, за да осигурява желаното налягане за всички потребители.
- В натоварващата точка, разположена недалеч от централната компресорна система, може да се инсталира по-малък специален компресор, вместо за доставка на въздуха да се използват дълга тръбна система.
- Всички пневматични съоръжения трябва да бъдат правилно смазани, което ще намали триенето и ще предотврати износване на гумените части, като по този начин ще предотврати загуба на енергия от прекомерна консумация на въздух или изтичане.
- Неправилното използване на сгъстен въздух за почистване и други подобни приложения трябва да бъдат избягвани, за да се пести въздух и енергия.
- Пневматичните съоръжения не трябва да се експлоатират над препоръчителното налягане, тъй като това води не само до загуба на енергия, но може да доведе и до прекомерно износване на компоненти на съоръжението, което от своя страна води до допълнителна загуба на енергия.
- Пневматичният пренос на материали може да бъде заменен от механична система, тъй като той консумира около 8 пъти повече енергия. Най-добрата

възможност за икономия на енергия е чрез намаляване на използването на съгъстен въздух.

- Пневматични инструменти като бормашина и други консумират около 20 пъти повече енергия, отколкото двигателно задвижваните инструменти. Ето защо те трябва да бъдат използвани ефективно. Където е възможно, те следва да бъдат заменени с електрически инструменти.
- Когато е възможно, следва да се използва заваряването като добра практика и то да се предпочита пред използването на резбови съединения.

10. Вентилатори и помпи

10.1. Двигатели и задвижки

10.1.1. Особенности на двигателите и задвижките

Вентилаторите са устройства, осигуряващи необходимото налягане за транспортиране на въздуха във въздуховодната инсталация чрез преодоляване на силите на триене във въздухопреносната система. Помпите имат подобна функция – те осигуряват необходимия напор за транспортиране на течности чрез покриване на загубите от хидравлични съпротивления на тръбопроводната система и при промяна на геодезичната височина. И вентилаторите, и помпите използват общ елемент - електрически мотор и задвижката му. Енергийна ефективност на системата, независимо дали става въпрос за вентилатори, помпи или компресори, може да се постигне само когато моторът, задвижката и товара се разглеждат като едно цяло и неговите компоненти са оптимизирани.

Счита се, че до половината от потенциалните енергийни спестявания за мотора и задвижката могат да бъдат постигнати чрез подобрения в инсталацията, включително правилно оразмеряване на мотора и задвижката му, премахване/намаляване на излишните натоварвания и свеждане до минимум работата на празен ход. На това трябва да се обърне специално внимание при поддръжката.

Повечето електрически двигатели са проектирани да работят при 50% - 100% от номиналното им натоварване. Една от причините е, че оптималната ефективност на двигателите като цяло е при 75% от номинално им натоварване, а другата причина е, че двигателите обикновено са с оразмерени за номиналните товари.

Някои проучвания на инсталирани двигатели разкриват, че голяма част от тях са с неправилно натоварване. Моторите, които са натоварени под 50% от номинално натоварване, работят неефективно и имат нисък фактор на мощността. Ниският мощностен фактор увеличава загубите при преноса на електричество и при използване на съоръжения като кабели, двигатели и трансформатори например, като намалява способността за справяне с натоварванията и регулиране на напрежението на електрическата система на сградата. Преценката дали дадени двигатели са правилно натоварени дава възможност на ръководството да вземе информирано решение за това кога и с какъв точно тип нови двигатели да ги замени.

Има няколко начина да се определят товарите на двигателите. Най-добрият и лесен начин е чрез пряко измерване с помощта на електромер, а т. нар. „Slip” измерване и амперажно отчитане могат да се използват за оценка на действителното натоварване.

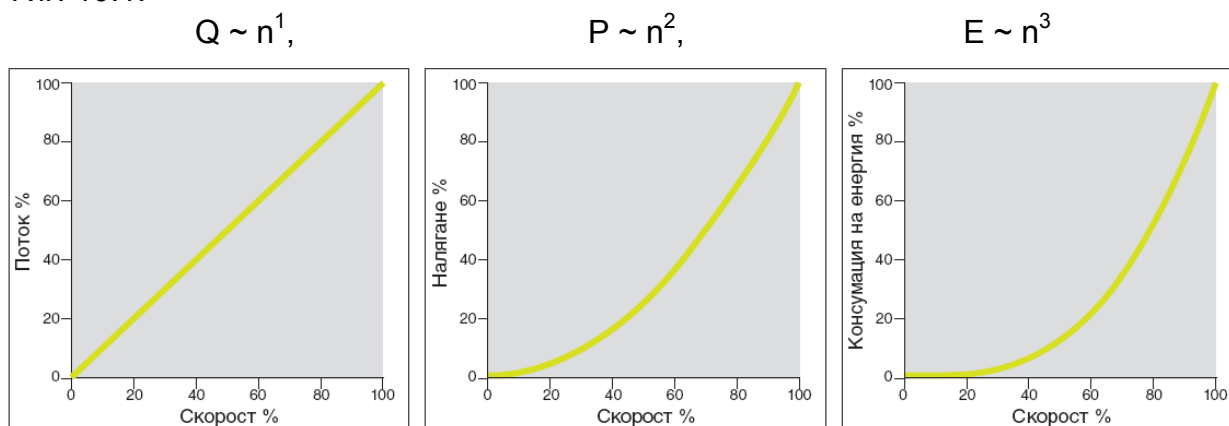
Трябва да стане правило остарелите или изгорели мотори да се подменят с високоефективни такива. Задължително е във всяка ситуация да се направи технико-икономическа оценка. По правило, когато повече от половината електроенергия на дадено съоръжение се консумира от електродвигатели, замяната им с високоефективни такива може да бъде икономически обоснована.

Високоефективните електрически двигатели предлагат много предимства, като:

- Спестяват енергия (т. е. финансови средства);
- Допринасят за понижена консумация на първични енергийни източници (от тук и до намаляване на вредните емисии на газове);
- Генерират по-малка вътрешна топлина;
- Генерират по-малко шум;
- Имат по-дълъг живот, защото са по-надеждни;
- Намаляват експлоатационните разходи (смяна на лагери, уплътнения и т.н.).

Честотните преобразуватели са известни под различни имена - *инвертори*, *регулатори на променлива скорост* (VSD - Variable Speed Drives), *регулатори на променлива честота* (VFD - Variable Frequency Drives), *трансформатори на честотата* или *честотни преобразуватели*. Те представляват електронно устройство за безстепенно регулиране на честотата на въртене на електродвигателите. Днешните VFD-системи се използват за подобряване на взаимодействието между процеса или съоръжението и системата за задвижване, като имат и други полезни регулиращи и предпазни функции по отношение на други компоненти в рамките на системата.

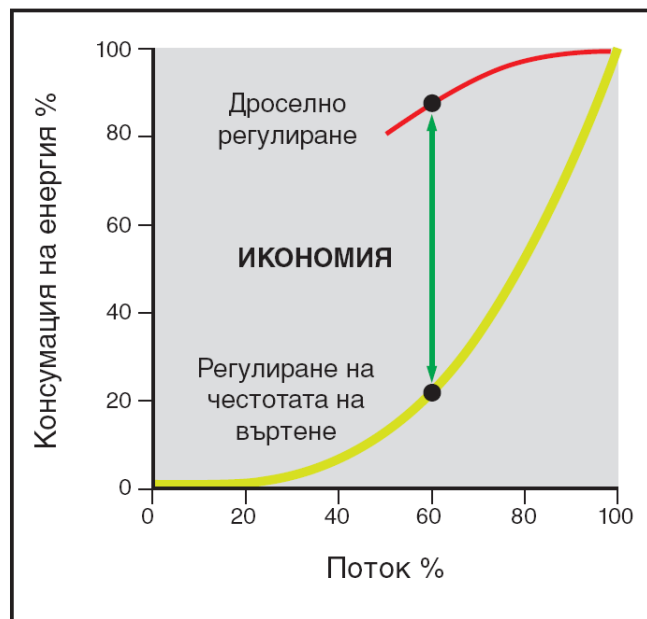
Параметрите на потока *дебит* Q , *налягане* P и *консумирана енергия* E зависят в различна степен от скоростта (честотата) n на въртене на двигателя, Фиг. 10.1:



Фиг. 10.1. Зависимост на параметрите на потока от честотата на двигателя.

VFD е система за контролиране на скоростта на въртене на променливотоков електрически двигател чрез контролиране на честотата на електрическата енергия, доставена на двигателя. Устройствата с променлива честота са известни също и като *регулируеми честотни преобразуватели (AFD)*, *вариатори (VSD)*, *АС двигатели*, *микродвигатели* или *инвертор-двигатели*. Тъй като напрежението се изменя заедно с честотата, те понякога са наричани също и *VVVF двигатели* (с променливо напрежение и променлива честота).

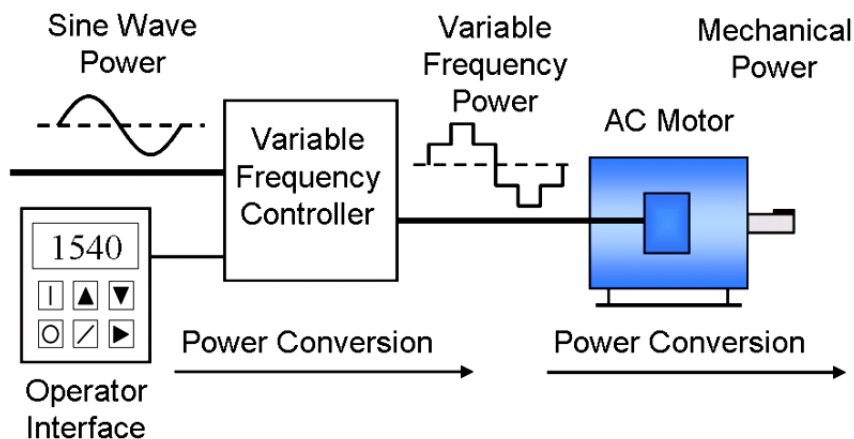
Разликата в енергийното потребление при дроселно и честотно регулиране на потока се вижда на Фиг. 10.2:



Фиг. 10.2. Консумация на енергия при дроселно и честотно регулиране.

Всички честотни преобразуватели използват техните изходящи устройства (IGBTs, транзистори, тиристори) само като превключватели, като ги включват или изключват. Използването на линейни елементи като транзистор в линеен режим е непрактично за VFD двигател, тъй като загубите в задвижващото устройство ще бъдат толкова, колкото и самият товар.

Най-често срещаният вид на компактен VF двигател е този с постоянно напрежение, използващ широкодиапазонна импулсна модулация за управление на честотата и на ефективното напрежение в зависимост от натоварването на двигателя.



Фиг. 10.3. Типична VFD система.

В една VFD система (Фиг. 10.3) обикновено се използва трифазен асинхронен двигател. Някои видове монофазни двигатели също могат да бъдат използвани, но обикновено се предпочитат трифазните. Различните видове синхронни двигатели предлагат предимства в някои ситуации, но асинхронните двигатели са по-подходящи в повечето случаи и като цяло са най-икономичният избор. Често се използват двигатели, които са предназначени за работа с фиксирана скорост. Някои подобрения в проектирането на стандартните двигатели предлагат по-висока надеждност и по-добра производителност на VFD системата.

При пуск на асинхронен двигател, когато към него се подаде захранващо напрежение, пусковият му ток надвишава няколко пъти номиналната си стойност (до около 6 пъти). Тъй като товара нараства, въртящият момент обикновено спада малко и след това достига пиковата си стойност, а токът остава много висок докато двигателят достигне пълната си скорост.

За разлика от това, когато VFD стартира двигател, първоначално се подават ниска честота и напрежение на мотора. Началната честота е обикновено 2 Hz или по-ниска. По този начин, започвайки от такава ниска честота, се избягва големия пусков ток, който протича, когато двигателят е стартиран, като просто се продава напрежението на захранващата мрежа чрез завъртане на ключа. След развъртане на VF двигателя, приложените честота и напрежение се увеличават контролирано за ускоряване на натоварването, без да се консумира ток повече от необходимото.

Този пусков метод обикновено позволява двигателят да развие 150% от номиналния си въртящ момент, докато, благодарение на VFD, се консумира по-малко от 50% от номиналния ток на захранващата мрежа в ниския диапазон на скоростта. VFD може да се регулира така, че да произвежда постоянен 150% въртящ момент от неработещо състояние до пълна скорост.

Имайте предвид обаче, че обикновено не е препоръчително да се охлажда двигателя, докато е в ниския диапазон на скоростта. При този начин на работа при ниска скорост, дори и с номинален въртящ момент, не е възможно да се работи дълго време поради прегряване на двигателя. Ако се налага

продължителна работа с висок въртящ момент при ниски скорости, обикновено е необходим външен вентилатор. Производителят на двигателя и/ или на VFD би трябвало да е определил изискванията за охлаждане в такъв режим на работа.

Променливо-честотните задвижващи системи предлагат много предимства, които водят до икономии на енергия чрез ефикасно и ефективно използване на електрическата енергия. Икономии на енергия се постигат чрез премахване на дроселирането, загубите от триене, свързани с други механични или електромеханични регулиращи скоростта технологии, както и чрез по-голяма производителност. Ефективността, качеството и надеждността също могат да бъдат драстично подобрени чрез използването на VFD технологии. Приложението на една VFD система е силно зависимо от товара и затова е необходимо задълбочено разбиране на характеристиките му, за да е успешното нейното внедряване. Видът на натоварването (т. е. постоянен въртящ момент, променлив въртящ момент, постоянни конски сили) трябва също да бъдат известни, както и времето, през което системата работи (или би могла да работи) на по-малка от пълната скорост. VFD помпата е свързана със система за управление на клапата, която ще бъде регулирана така, че да поддържа постоянно налягане в системата. VFD вентилаторът е свързан едновременно с регулатора на въздушния поток и с направляващата лопатка.

Освен намалената консумация на електрическа енергия, честотните преобразуватели имат и други предимства, например те:

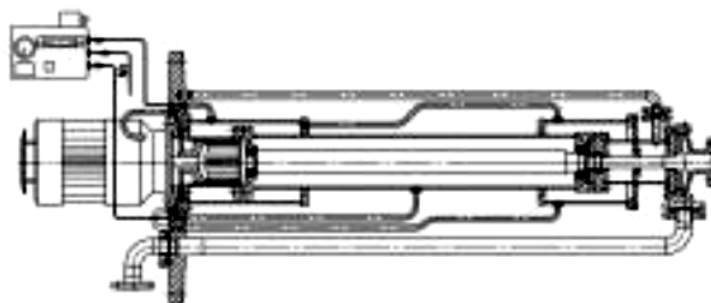
- дават възможност за по-голям диапазон в скоростта, въртящия момент и мощност;
- позволяват подобрения в производствения процес и начините за управление;
- имат по-кратки срокове за реакция;
- намаляват шума и нивата на вибрации на вентилационното оборудване;
- дават възможност за подмяна на съществуващите помпени системи чрез контрол на температурата и дроселирането;
- допринасят за намаляване на поддръжката и времето за прекъсване на работа; и
- удължават живота на оборудването (например износване на помпите).

Новото поколение на магнитно-свързани задвижващи технологии, съчетани с лесното инсталиране и първостепенната гаранция за модула двигател/ регулатор от производителите, осигуряват надеждна и ефикасна алтернатива за управление на вентилатори с променлива скорост. Този особено здрав продукт се използва успешно като подобрен заместител за повечето от споменатите по-горе проекти и технологии в стотици съоръжения, задвижвани с ремък. В критични ситуации, където максималната надеждност и максималното време за работа са от първостепенно значение, този подход би могъл да бъде предпочитаната алтернатива.

Концепцията на магнитно свързване (куплиране) на двигателя с регулатора се различава значително от задвижките с променлива честота в това, че няма прекъсване на мощността на двигателя. Прецизното управление на скоростта се постига чрез смяна на магнитния съединител между изходящия вал на двигателя и бобината, когато двигателят работи непрекъснато. Повечето конфигурации се състоят от два основни елемента:

- Многополюсен електромагнит, поставен върху вала на двигателя;
- Стоманен барабан (арматура/макара).

Един от елементите (входната част) е свързан с вала на двигателя така, че да работи непрекъснато. Другият елемент (изходната част) ще има връзка към задвижваното устройство. Тези два елемента са разделени от въздушно пространство и нямат друга механична връзка, освен поддържащите лагери. Чрез пускане на ток по намотката на електромагнитния ротор се генерира магнитно поле, създаващо вихрови токове на повърхността на барабана, които магнитно свързват двата компонента и карат изходната част да се върти в същата посока като двигателя. Скоростта на изхода зависи от силата на магнитното поле, което пък е пропорционално на силата на тока в електромагнита.



Фиг. 10.2. Магнитно свързана обезопасена суха помпа тип MPatan.

Един ориентировъчен точков тест, с който бързо може да се прецени дали даден двигател подлежи на подмяна или може да продължи още да работи, е представен в Табл. 10.1:

Таблица 10.1. Тест за определяне необходимостта от смяна на двигателя
Брой точки според възрастта на двигателя

Възраст на работа на двигателя				
До 5 години	До 10 години	До 15 години	До 20 години	Над 20 години
1	2	3	4	5

Брой точки според инсталираната мощност

Инсталирана мощност на двигателя				
> 1 500 kW	До 1 500 kW	До 500 kW	До 150 kW	До 50 kW
1	2	3	4	5

Брой точки според работните часове

Часове на работа на двигателя				
До 2 000 h	До 3 000 h	До 4 000 h	До 5 000 h	> 5 000 h
1	2	3	4	5

Скала за оценка според сбора точки

Двигателят е в рамките на:														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Моторът може още да работи					Необходима е профилактика и ремонт на мотора				Смяната е абсолютно задължителна					

10.1.2. Съвети за подобряване на енергийната ефективност на двигатели и задвижки

За двигатели:

- Оразмерете го правилно съобразно товара, за да има оптимална ефективност (високоэффективните двигатели предлагат 4% ~ 5% по-висока ефективност в сравнение със стандартните).
- Използвайте високоэффективни двигатели, ако е икономически обосновано.
- Използвайте синхронни двигатели, за да подобрите фактора на мощността.
- Проверявайте центровката.
- Осигурете подходящо охлаждане (всяко покачване с 10°C на температурата на работа на двигателя над препоръчителния праг съкращава животът му двойно).
- Проверявайте за понижено или повишено напрежение.
- Балансирайте трифазното захранване (небалансираното напрежение може да намали мощността на двигателя от 3% до 5%).
- Възстановете нивата на енергийна ефективност след пренавиване на мотора (ако пренавиването не е направено правилно ефективността може да бъде намалена с 5% ~ 8%).

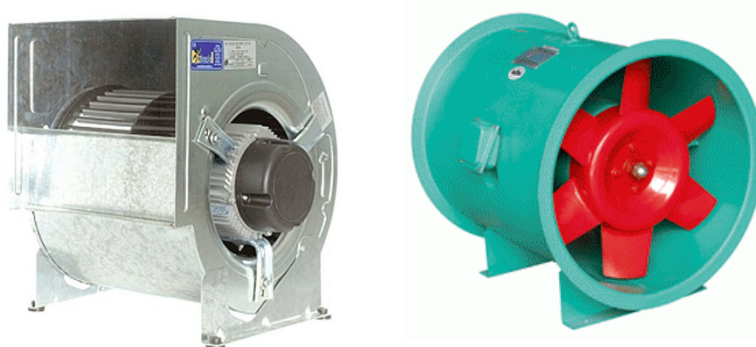
За задвижки:

- Използвайте задвижки с променлива скорост за големи променливи товари.
- Използвайте високоэффективни зъбни предавки.
- Правете прецизна центровка.
- Редовно проверявайте натягането на ремъците.
- Премахнете шайбите с различен диаметър за промяна на скоростта.
- Използвайте енергийно-ефективните плоски ремъци тип „сандвич“ вместо алтернативните по-стари V-образни ремъци.
- Премахнете неефективните съединители.
- Изключвайте ги, когато не са свързани с блокировки и управление.

10.2. Вентилатори

Вентилаторите осигуряват необходимия дебит въздух за вентилационните системи и изискванията на индустриалните процеси. Те създават налягане, необходимо за движението на въздуха и преодоляване на хидравличните съпротивления от движението във въздуховоди, заглушители и други елементи на системата.

Вентилаторите и компресорите са класифицирани според метода, използван за движение на въздуха, както и по налягането на системата, срещу което те трябва да работят.



Фиг. 10.3. а) Центробежни и б) аксиални вентилатори.

Вентилаторите попадат в две основни категории (Фиг. 10.3) - с центробежен поток и аксиален поток. При центробежните въздушният поток променя посоката си два пъти - веднъж, когато влиза във вентилатора, и отново при напускането му (извит напред, назад, наклонен и радиален вид). При аксиалните въздухът влиза и излиза от вентилатора без промяна в посоката (витлови, аксиална тръба, аксиална лопатка).

Центробежните вентилатори се използват в индустриални и ОВИ системи. Основните типове центробежни вентилатори, в зависимост от вида на лопатките, са радиални, ориентирани напред или назад.

Радиалните вентилатори са с индустриално приложение поради високото статично налягане, което създават, и възможността да пренасят високозамърсени флуиди. Поради семплия си дизайн радиалните вентилатори са много подходящи за високи температури и средни скорости на върха на перката.

Напред ориентирани лопатки се използват в чисти среди при ниски температури. Работят много добре при ниски скорости и големи дебити, т.е. транспортират големи дебити при сравнителни малки налягания.

Назад ориентирани лопатки са по-ефективни, отколкото напред ориентирани лопатки. Първоначално този тип вентилатори достигат тяхната върхова мощност, след което тя намалява в зависимост от дебита на транспортирания въздух. Този тип вентилатори са познати като “разтоварени”, защото при промяна на статичното налягане, двигателят не се претоварва.

Всички центробежни вентилатори работят съгласно следните закономерности:

- Въздушният поток се променя пропорционално на скоростта на вентилатора.
- Общото диференциално налягане е пропорционално на квадрата от скоростта на вентилатора.
- Необходимата мощност е пропорционална на трета степен от скоростта на вентилатора.

От изложеното дотук следва, че промените във въздушния поток и аеродинамичните съпротивления могат значително да повлияят на мощността, необходима на вентилатора. Това подчертава значението на тръбопроводите, които не пречат на въздушния поток.

Основните видове аксиални вентилатори са тръбните, крилчатите и витловите.

Тръбните аксиални вентилатори имат работно колело, разположено в цилиндричния корпус, като разстоянието между лопатките и стената е достатъчно малко, за да осигури висока ефективност на транспортирания поток. Работното колело се върти с по-висока скорост от лопатковите вентилатори и осигурява по-високо работно налягане. Ефективността е над 65%.

Крилчатите вентилатори приличат на тръбните аксиални вентилатори, но имат и допълнителен направляващ апарат, подобряващ неговата ефективност чрез направляване на флуидния поток. В резултат на това те имат по-високо статично налягане, слабо зависимо от статичното налягане на въздуховода. Крилчатите вентилатори обикновено са най-енергийно ефективните от всички, които се предлагат на пазара, и трябва да се използват винаги, когато това е възможно.

Витловите вентилатори работят обикновено при ниски скорости и средни температури. Възможна е работа при голям диапазон на дебита и ниски изменения в статичното налягане. Те транспортират големи дебити при много ниски налягания. Използват се често в затворени помещения (като смукателни вентилатори) и на открити пространства – при кондензатори с въздушно охлаждане и охладителни кули.

10.2.1. Съвети за подобряване на енергийната ефективност при вентилаторите

Потреблението на енергия при вентилаторите се влияе от много други променливи въздействия, някои от тях са свързани с експлоатацията и поддръжката. Други фактори, които засягат използването на енергия от вентилатори, са свързани с въздухопреносната система, в която е инсталиран вентилаторът.

Повишаването на ефективността на въздухопреносната система може да бъде скъпо, но разходите за това се изплащат бързо. Енергията, консумирана от задвижващия мотор, представлява сборът от енергията, необходима на вентилатора да задвижва въздуха и енергийните загуби на вентилатора, мотора и задвижките. Ето защо е препоръчително да се изберат високоефективни вентилатори, мотори и задвижки.

Стратегията за енергийна ефективност във вентилаторните системи включва въвеждането на точна системна крива, избиране на правилна работна точка на вентилатора и съчетаването ѝ с най-добрата точка на ефективност и избор на вентилатор с най-висока ефективност за конкретното приложение, като по този начин се постига енергийноефективен капацитет и усвояване на добри практики за работа и поддръжка.

Потенциалът за енергийни спестявания при вентилаторите и вентилаторните системи се заключава в намаляването на товара на системата и напорната височина и премахване на неефективните контролиращи средства. Те са обобщени като категории тип А, В и С, както следва:

1. Минимизиране на течовете на въздух по пътя на димните газове с цел намаляване на товара на вентилатора, особено в печи, котли и др. (А)

2. Минимизиране на въздушните течове по пътя на горещите димни газове, за да се намали натоварването на вентилатора, особено в сушилни, инсталации на парни котли, печи и др. Студеният въздух при течовете увеличава изключително много натоварването на вентилатора поради увеличената плътност на димните газове и фактически намалява капацитета на вентилатора, което води до задръстване на самата пещ/котел. (А)

3. Просмукванията в климатичните системи също имат основно влияние върху енергийната ефективност и консумираната мощност от вентилатора и трябва да бъдат намалени. (А)

4. Изследванията по отношение на работа на вентилатора посочват потенциалните полета на подобрене на тяхната работа, които могат да бъдат една или повече от следните:

- Подмяна на ротора с високаефективен такъв заедно с конус. (С)
- Подмяна на вентилаторната система като цяло с по-енергийноефективна. (С)
- Намаляване на размерите на лопатките (при преоразмерени лопатки). (В)
- Подмяна на работното колело с по-енергийно ефективен кух ротор (FRP), където са получени значителни икономии. (С)
- Редуциране на скоростта чрез промяна на диаметъра на ролката. (С)
- Вариант с двигатели с две скорости или задвижки с променлива скорост за променливи условия на работа. (В)
- Вариант с енергийноефективни плоски ремъци или клиновидни назъбени V-образни ремъци вместо конвенционалните V-образни ремъци за намаляване на загубите при пренос. (С)
- Намаляване на съпротивлението на системата и пада на налягане чрез подобряване на въздуховодната мрежа, т.е. увеличен типоразмер на въздуховодите. (В)
- Да се използва гладък с ниско съпротивление входящ конус в мястото на засмукване на въздух. (А)
- Минимизиране на препятствията преди и след вентилатора. (А)

10.3. Помпи

Помпите се предлагат с различни размери в широк диапазон от приложения. Те могат да бъдат класифицирани според техния основен принцип на работа като **центробежни** (динамични) или **бутални** помпи. Динамичните помпи могат да се разделят на *центробежни* и помпи със *специално*

предназначение. Буталните помпи могат да бъдат класифицирани като *ротационни* и помпи с *възвратно-постъпателно движение*.

По принцип за всяка течност може да се използват всички видове помпи. Там, където са приложими различни видове помпи, е важно да се отбележи, че центробежната обикновено е най-икономична, следвана от ротационната и буталната.

Съществуващите помпени системи предоставят отлична възможност за подобряване на ефективността, тъй като конструктивно понякога е трудно те да бъдат оптимизирани преди монтажа. В допълнение, усилията при проектирането често са фокусирани върху намаляване на капиталовите разходи или върху възможността за повреда в системата. В резултат на това разходите за енергия и поддръжка не могат да бъдат изцяло предвидени.

Според някои източници разходите за енергия и поддръжка могат да достигнат 50 ~ 95% от разходите за закупуване на цялата помпа, като първоначалните разходи ще са около 15% от разходите за целия живот на помпата. Освен това при промишлени помпени системи, които са били в експлоатация дълго време, може да настъпят промени и разходите да нарастнат, тъй като системите се отдалечават от първоначалните параметри на дизайна си. Подобряването на ефективността на помпената системата в тази ситуация може да има прост период на откупуване от няколко седмици до няколко години.

Както вече бе споменато, помпите биват един от двата вида в зависимост от принципа им на работа:

- центробежни (или динамични) помпи, които движат течности чрез добавяне на кинетична енергия на течността, и
- бутални помпи, които осигуряват постоянен обем на потока при дадена скорост на помпата чрез задържане на течност в кухините на помпата и преместване я до изхода на помпата.

При избор на нова помпа трябва да се обърне внимание на общите разходи за целия жизнен цикъл на помпата, включително поддръжка, енергия и първоначални разходи. Качествената, надеждна, добре монтирана и ефективна помпа най-вероятно ще има по-ниски разходи през целия жизнен цикъл, отколкото по-евтина, лека помпа, дори ако по-леката помпа е малко по-ефективна.

Подобренията в ефективността на помпените системи могат също да:

- намалят разходите за енергия;
- намалят необходимостта от поддръжка;
- по-точно да се съгласува капацитета на помпената система с конкретните изисквания.

За да се предостави най-добрият краен продукт за вашия бизнес се изисква цялостен подход, обхващащ проектиране, монтаж, експлоатация и поддръжка на вашите помпени системи.

Определянето на недостатъците на сегашната ви помпена система е ключът към намирането на най-доброто решение за постигане на енергийна

ефективност за вашия бизнес. Основните въпроси, на които трябва да се намери отговор в този случай, са:

- Как да направя сегашната ми система по-ефективна?
- Имам ли нужда от нова помпена система или от нови компоненти за нея?
- Как да разширя помпената си ситема?
- Какво трябва да знам, за да инсталирам нова система?

За много организации грижата за въздействието върху околната среда от дейността им става все по-важна. Подобряването на ефективността на помпените системи е един от начините да се намалят емисиите на парникови газове и опазването на природните ресурси.

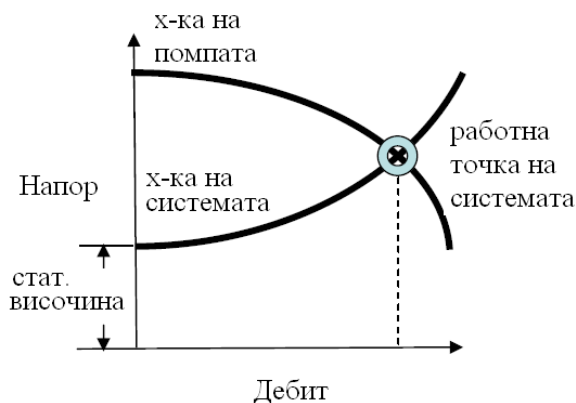
Работата на помпата прилича на тази на вентилатора по това, че и двете устройства пренасят вещество чрез разпределителна мрежа до крайния потребител. И помпите, и вентилаторите, както и техните задвижки, трябва да бъдат достатъчно големи, за да се преодолее съпротивлението на разпределителната система. При оразмеряване на помпата обаче трябва да се вземе предвид и разликата във височините между помпата и крайния потребител, която оказва значително влияние върху необходимата мощност на помпата.

Както и при вентилаторните системи, разходите на енергия при работа на помпената система могат да бъдат намалени чрез инсталиране на високоефективни помпи, електродвигатели и задвижки.

10.3.1. Съвети за съхранение на енергията в помпените системи

Дебитът при определен напор характеризира работата на дадена тръбна система. Тази точка се нарича *точка на системата*. Характеристиката на помпата е необходимо да покрива няколко такива точки на системата. Пресечната точка на характеристиките на тръбната система и тази на помпата дефинират работната точка на системата.

Би било най-добре, ако работната точка на помпата е възможно най-близо до най-ефективната работна точка системата. Това означава, че трябва да се обръща особено внимание на оразмеряването на помпата за дадено приложение, тъй като ненужно големите помпи биха довели до намаляване на оперативната ефективност.



Фиг. 10.4. Работна точка на системата.

Ако експлоатационните ви изисквания са се променили, например ако са направени значителни подобрения в оборудването, може да се наложи да инсталирате по-ефективно оборудване или да разширите помпената си система. Това ще включва елементи от две решения - първо ще гарантира, че вашата настояща система работи ефективно (*Решение 1*) и второ, ще проектира новите компоненти на разширената система (*Решение 2*). Тази последователност ще гарантира, че няма да загубите пари за закупуване на повече, отколкото действително ви е необходимото. Освен това информацията, получена от преразглеждането на ефективността, може да играе ръководна роля при избора и проектирането на нови компоненти на системата.

Решение 1 – Подобряване ефективността на съществуваща помпена система. Примерна последователност при процеса по подобряване на енергийната ефективност на помпена система е посочен по-долу [14]:



Фиг. 10.5. Последователност при подобряване на енергийната ефективност на помпена система.

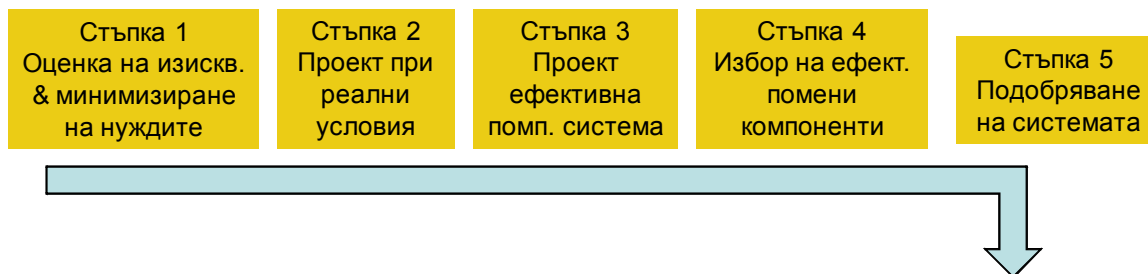
След като възможностите за подобряване на ефективността на помпената система са били изяснени по време на оценката, те трябва да бъдат приоритизирани или предварително сортирани, така че областите с по-голямо увеличение на ефективността и най-много спестяване на енергия да могат да се реализират. Таблица 10.2 показва относителните спестявания, които могат да бъдат реализирани и показва приоритетите, които целят постигане на най-много спестявания. Тези приоритети се влияят и от степента на несъответствие между действителните характеристики за системата и параметрите, за които тя е била проектирана.

Таблица 10.2. Техники за намаляване на енергийните разходи при помпи

Енергийно ефективна мярка	Икономия
Смяна на регулиращи клапани с контролери на скоростта	10 - 60%
Намаляване на скоростта при фиксиран товар	5 - 40%
Инсталиране на паралелна система при високи товари	10 - 30%
Замяна на двигател с по-ефективен модел	1 - 3%
Замяна на помпа с по-високо ефективна	1 - 2%

Решение 2 – Проект на нова система. В една добре проектирана помпена система ще бъде отчетено влиянието на всички нейни елементи, включително как

да бъдат минимизирани нуждите от допълнително внасяне на енергия. Много от стъпките в решение 1 могат да се използват и при проектиране на новата система. Все пак при проектирането на нова система възможностите за пълна оптимизация са най-големи.



Фиг. 10.6. Примерна последователност при проектирането на нова помпена система

Таблица 10.3 обобщава проектните съображения за компонентите на помпената система.

Таблица 10.3. Проектни съображение за ефективност на помпените системи.

Компонент	Проектни съображения
<i>Системни съображения</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Уверете се, че използвате цялостен подход. • Минимизирайте необходимостта от помпена система. • Намалете нуждата от помпене чрез добър проект на предприятието. • Намалете течовете. • Намалете помпения дебит на системата. • Намалете оперативното налягане. • Изберете ефикасни компоненти за системата. • Използвайте най-актуалните цени на енергията при пресмятане на оперативните разходи.
<i>Управление и начин на работа</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Обмислете ползването на задвижки с променлива скорост като начин за управление на въздушните потоци вместо дроселиращи клапани. • Поставете сензори за налягането или за дебита на място, където ще се осигури изпълнение на процесите, без изразходване на излишна енергия за изпомпване. • Записвайте тенденциите на промяна в системните данни. • Осигурете измерване на компонентите (например на дебита, kWh).
<i>Помпени станции</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Обмислете ползването на помпи с различна мощност за различните дебита.

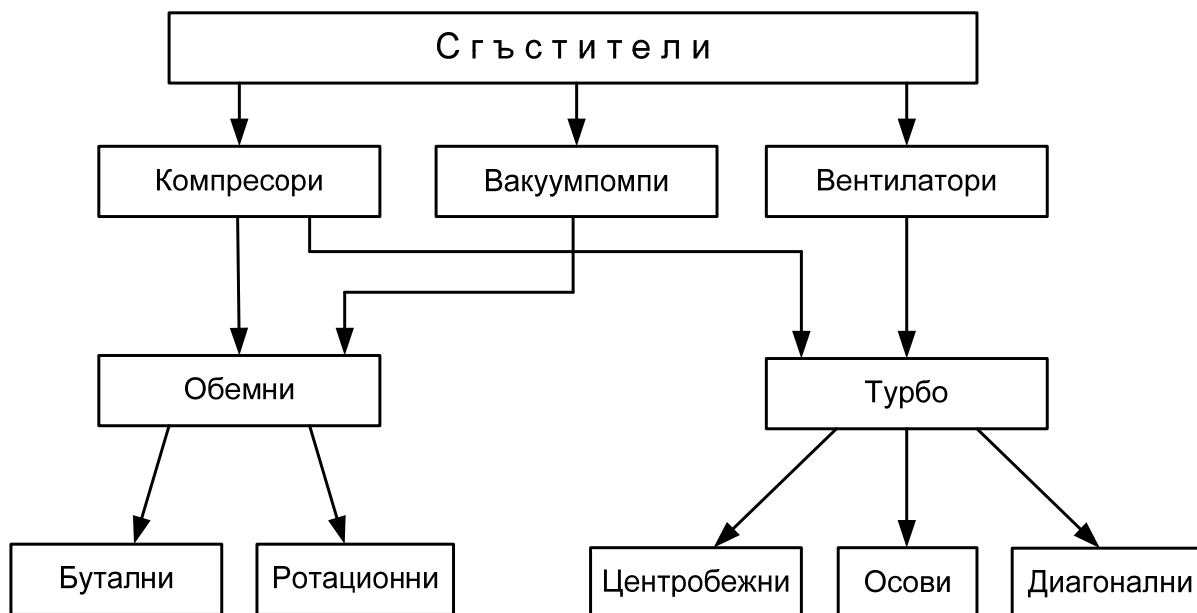
	<ul style="list-style-type: none"> • Обърнете внимание на тръбопроводи с няколко помпи.
<i>Конфигурация на помпената система</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Максимизирайте диаметъра на тръбата. • Оптимизирайте вида на тръбата, за да минимизирате загубите на налягане. • Минимизирайте загубите на налягане чрез клапани и фитинги. • Минимизирайте байпасните потоци.
<i>Управление на дроселите</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Избягвайте байпасните линии. • Избягвайте дроселиращи клапани. • Оптимизирайте употребата на дросели и задвижки с променлива скорост.
<i>Помпи и двигатели</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Осигурете висока ефективност на двигателя. • Осигурете висока ефективност на помпата. • Уверете се, че помпата работи до най-добрата си точка на ефективност. • Не използвайте помпи, които са по-големи от необходимите. • Ползвайте ротор с правилния размер. • Изберете помпа от необходимия за вас вид (аксиална, центробежна и т.н.) • Уверете се в съвместимост със задвижките с променлива скорост. • Проверете методите за уплътнение (салникова набивка, механично уплътнение и т.н.).
<i>Работа и поддръжка</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Направете график за поддръжка. • Изберете система, която се поддържа лесно.
<i>Доставчици на услуги</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Изберете доставчик на услуги, който е компетентен в областта на енергийната ефективност и ще ви помага.

11. Компресори и турбини

11.1. Компресори

11.1.1. Въведение

Компресорите спадат към групата на съгстителите, чиято класификация е показана на фиг. 11.1.



Фиг. 11.1. Класификация на сгъстителите

Според принципа си на действие компресорите се разделят на *обемни* и *турбокомпресори*. Към **обемните компресори** се отнасят *буталните* компресори с възвратно-постъпателно движение на буталото и различни видове *роторни* (ротационни) компресори (в т.ч. и навлезлите вече *винтови* компресори), а към **турбокомпресорите** – *центробежни, осови и диагонални*.

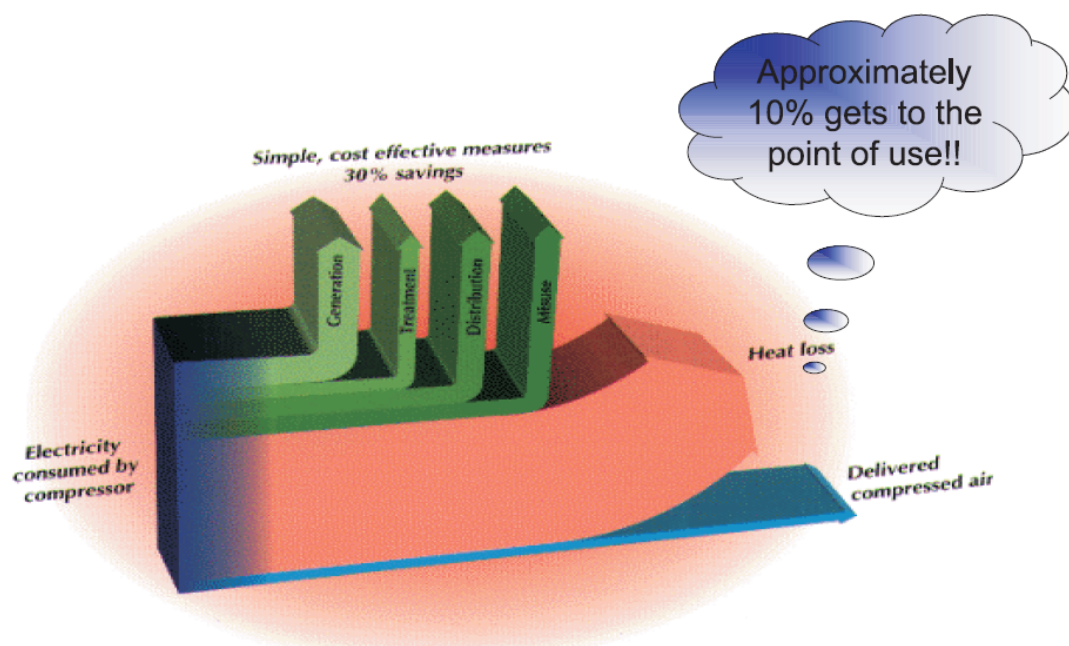
Според създаването налягане буталните компресори се делят на:

- компресори за ниско налягане – до 0,2 МРа;
- компресори за средно налягане - от 0,2 до 10 МРа;
- компресори за високо налягане - от 10 до 100 МРа.

Според дебита на сгъстен въздух компресорите са разделят на такива с:

- малък дебит – до 0,17 m³/s;
- със среден дебит – от 0,17 до 1,7 m³/s;
- с голям дебит – над 1,7 m³/s.

Компресорите са големи консуматори на електрическа енергия, но до консуматора стига само (10 - 30)% (някои автори съобщават и за 10 до 15%) от подадената към компресора енергия. Останалите (90 - 70)% от потребената енергия се изразходват преди всичко в топлина и малка част под формата на триене, шум и др., Фиг. 11.2.

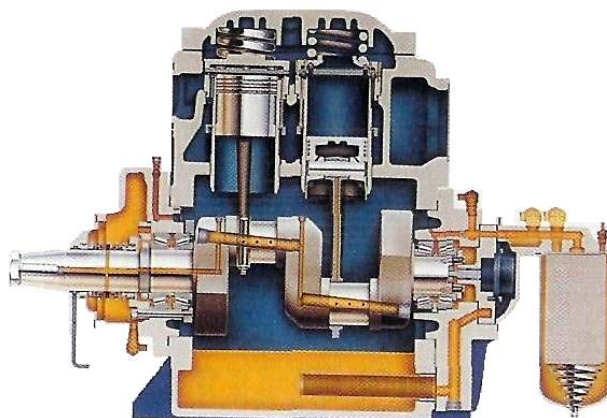


Фиг. 11.2. Диаграма на енергиите в система за сгъстен въздух

11.1.2. Анализ на различните видове компресори

Определянето на енергийната ефективност при работата на коя да е машина изисква доброто ѝ познаване. В този смисъл по-долу са показани някои от изброените вече конструкции на компресори.

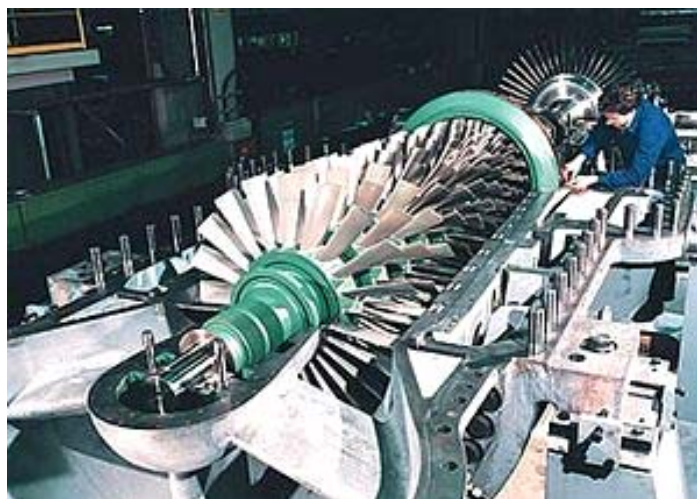
На Фиг. 11.3. е показан разрез на един **бутален компресор**.



Фиг. 11.3. Разрез на бутален компресор

В глава 9 бяха показани недостатъците на класическите бутални компресори (виж и Фиг. 11.2), в т. ч. и насищането на сгъстявания въздух с масло. На интернет адрес www.karnes.bg/images/pdf/Oil_free_products.pdf могат да се открият редица съвременно проектирани безмаслени компресори. Вече съществуват бутални компресори, ново поколение, които осигуряват въздух без масло благодарение на еластични пръстени, покрити с тефлон. Тези компресори имат шумоизолиращ кожух и аспирационни заглушители, тип „Вентури“.

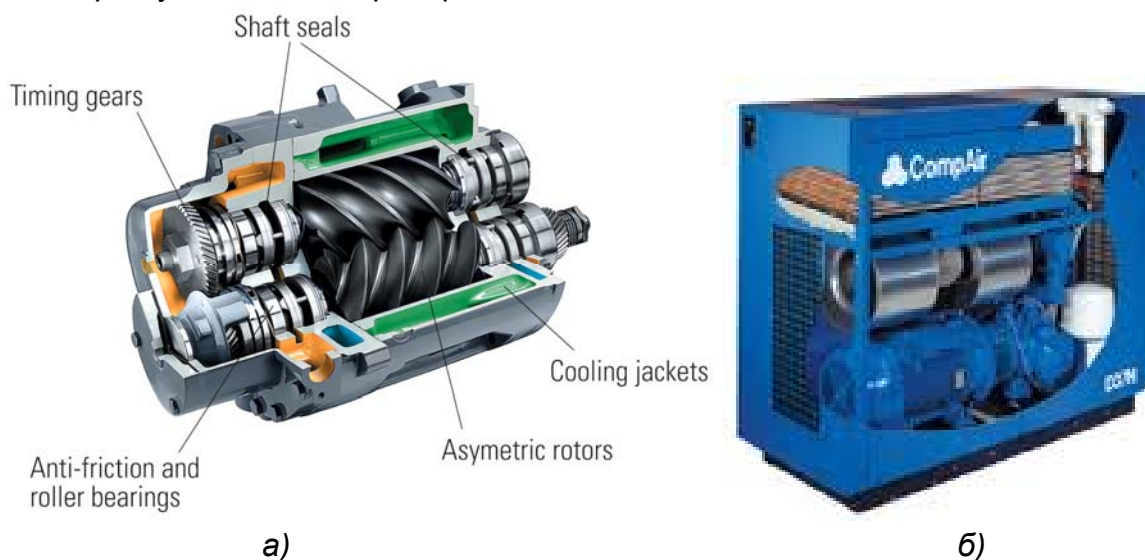
На Фиг. 11.4. е показан **осов компресор**.



Фиг. 11.4. Осов компресор

Към обемните компресори се отнасят и съвременните компресори с две орбитални спирали (виж посочения по-горе интернет адрес). При тях едната спирала е неподвижна, а другата извършва ротационно ексцентрично движение. Едно от големите предимства на тези компресори е, че на изхода им въздухът излиза без пулсации. Съществуват и безмаслени компресори със зъбовиден (S-образен) компресорен елемент.

На пазара навлязоха и т. нар. **винтови компресори**. На Фиг. 11.5 а. е показана вътрешната конструкция на такъв компресор, а на Фиг. 11.5 б - съставът и външния вид на такъв компресор. И тук предимство на тези компресори е, че винтовете не се докосват по време на своето въртене, т. е. няма го износването, както е при буталните компресори.



Фиг. 11.5. Винтов компресор

От винтовите компресори въздухът излиза сух, чист, без влага и масло. Затова такъв въздух може да се използва в хранително-вкусовата промишленост, където е нужно въздухът да влиза в пряк контакт с хранителните продукти и техните контакти.

Винтовите компресори са с по-лесна експлоатация, затова навлизат все повече в производството. Такива компресори имат микропроцесорно управление, което регулира работата им в товаро/разтоварен режим, старт- стоп. Управлението осигурява на оператора подробна информация за статуса и необходимото обслужване на компресора.

Вече се предлагат и компресори с вградени изсушители. Директното куплиране на двигателя и винтовата двойка, както и възможността от въздушно и водно охлаждане, са също част от предимствата на тези машини.

Широката гама предлагани компресори позволяват прецизно да бъде избрана подходящата машина спрямо нуждите на клиента. Това от своя страна намалява разходите за електроенергия и експлоатационните разходи. Разработени и в продажба са компресори с променлив дебит и постоянно налягане.

На посочените по-долу сайтове могат да се намерят компресори, подходящи за всеки случай: www.compressorbg.com; www.kirov.net/?cid=70; www.compressors.euromarket-group.com/?cid=50; www.karnes.bg/images/pdf/Industrial_Air.pdf; www.opwmarket.com

На показаните адреси могат да се намерят и бутални компресори за високо налягане 420 bar, в различни модификации по отношение на захранващо напрежение и честота, охлаждане, противоземетръсна конфигурация, взривозащита, задвижвани и от дизелов двигател, предназначен за монтаж на открито и др.

В резюме може да се отбележи, че тенденциите на съвременното компресоростроене са към намаляване на относителното тегло на машините, повишаване на тяхното к.п.д., увеличаване на надеждността на работа, автоматизация на регулирането на производителността и защитата от аварии. Стремещт към повишаване на безопасността на работа на компресора и намаляването на разхода на енергия е довел до създаване на *двустепенни и многостепенни* машини. В съответствие с това съвременните бутални компресори се строят с голям честота на въртене. За ротор на електродвигателя често служи колянният вал на компресора. Машините са снабдени с многостепенно регулиране на производителността и защита, осигуряваща спирането на компресора при отсъствие на налягане в смазващата система, при прекратяване на подаването на охлаждаща вода, при прекомерно повишаване на температурата в края на свиването и т.н. Описаното неминуемо води до съкращаване на разходите по експлоатацията на компресорите.

Все по-голямо разпространение получават **ъгловите компресори**. Това са компресори, при които първата степен е разположена вертикално, а втората хоризонтално.

На Фиг. 11.6 са показани стара и нова конструкция на компресори.



Фиг. 11.6. Стара и нова конструкция на компресори

11.1.3. Енергийна ефективност и регулиране на системи за сгъстен въздух

Установено е, че в много предприятия компресорите консумират повече електроенергия отколкото всеки друг тип обзавеждане. Изследвания на организации, свързани с енергийната ефективност показват, че в развитите в индустриално отношение страни за сгъстен въздух се консумира между 10 и 20% от електроенергията, изразходвана за промишлени нужди. От друга страна системите за сгъстен въздух имат ниска обща ефективност, обикновено в границите 10 - 15%, което обуславя значителни производствени разходи.

Наред с горните недостатъци обаче, голямо предимство е, че сгъстеният въздух се генерира на място и, следователно, потребителят може да контролира процеса и да влияе върху цената му.

От горното може да се заключи, че си заслужава да се инвестират време и средства за подобряване работата на компресорните системи и намаляване на цената на сгъстения въздух. Полезните резултати от това са в различни направления, напр.:

- според проучвания на Енергийния департамент на САЩ съществува потенциална възможност да се намали консумацията на енергия от 20 до 50% и повече, което спестява значителни средства. Според изследване на ЕС се посочва, че намаляването на потребената енергия може да бъде около 30%;
- подобряват се надеждността, безопасността и условията на труд;
- чрез намалената консумация на електроенергия се намалява и вредното въздействие върху околната среда, а оттук и по-малко въглеродни емисии.
- оперативните разходи за електроенергия и поддръжка на компресорите и системите за сгъстен въздух са около 80%. Разходите за обзавеждането и инсталирането са само около 20%. Тъй като разходите за електроенергия са

около 73%, то е от съществено значение да се търсят подходи за намаляване на консумираната енергия за получаване на сгъстен въздух.

Някои мерки за повишаване на ефективността

Мерките за повишаване на енергийната ефективност, които ще бъдат разгледани, са добре известни, но не винаги се изпълняват, защото често потребителите не осъзнават колко са високи разходите за сгъстен въздух и не са информирани за реалните икономии, които могат да бъдат постигнати.

А. Неподходяща употреба на сгъстения въздух

Поради своята безопасност, чистота, лесна достъпност и голяма гъвкавост за адаптиране към различни нужди, сгъстеният въздух има голям брой приложения. Понякога обаче той се използва, така да се каже, "по инерция", само защото има наличен източник, а не защото е най-евтината и подходяща технологията. От друга страна, както вече бе коментирано, сгъстеният въздух е скъп източник на енергия, като само около 10% от консумираната енергия може да се употреби под формата на полезна работа. Оказва се, че много операции от производството могат да се извършат по-икономично и ефикасно, като се използват други технологии и източници на енергия. Когато е възможно и безопасно, могат да се използват инструменти и съоръжения с директно електрическо задвижване. Оказва се, че много операции от производството могат да се извършат по-икономично и ефикасно, като се използват други технологии и източници на енергия.

Б. Повишено работно налягане и хидравлични загуби

Не рядко много системи в производството работят с налягане, по-високо от необходимото за нормалната работа на устройствата и за компенсиране на хидравличните и обемни загуби (неправомерен теч на газ).

Б1. Анализът на данни и работни характеристики на съвременни компресорни машини (винтови, пластинкови и турбокомпресори), както и някои ориентировъчни изчисления за консумираната мощност от компресори с въздушно и водно охлаждане показва, че за системи с налягане до 7 bar, което е най-често срещаният случай, увеличението на налягането с 15 kPa повишава консумацията на енергия с 1%.

Б2. Когато системата работи с налягане, по-голямо от необходимото, то съществуват и други неблагоприятни последствия. Увеличеното налягане повишава консумацията на въздух на всички нерегулирани устройства, включително и течовете (свободното изтичане) и др. Въпреки, че е различен за различните системи, обикновено нерегулираният разход се движи в границите от 30 до 50%. Това съответства на допълнително увеличаване на консумираната енергия с около 0,8% на всеки 15 kPa.

Б3. Може да се приеме също, че увеличаването на налягането във въздухопроводната система с 15 kPa повишава консумацията на енергия с 1,8%. В същото време повечето машини и инструменти могат да работят ефективно и при наляганя 5 - 6 bar. Затова се препоръчва внимателно проучване на спецификациите на крайното обзавеждане, за да се установи минимално

възможното работно налягане за нормалното му функциониране. Ако има възможност, трябва да се направят и експерименти в работни условия чрез постепенно намаляване на работното налягане.

Б4. Когато само в няколко точки от системата е необходимо високо работно налягане, то е икономически по-целесъобразно локално да се използват малки компресори за високо налягане. Ако нуждите от високо (или ниско) налягане надхвърлят 30% от средната консумация, трябва да се премине към създаването на две отделни системи за сгъстен въздух.

Б5. Хидравличните загуби на налягане влияят пряко на налягането във въздухопроводната система. При правилно проектирана, експлоатирана и с редовна поддръжка въздухопроводна система те не трябва да надхвърлят 10%.

Б6. Друга, практически доказала се, препоръка е, че максималният пад на налягане, измерен между ресивера и най-отдалечената точка, трябва да е до 0,3 bar. За реализация на тези препоръки могат да се вземат редица мерки.

Съществено влияние върху пада на налягането оказва диаметърът на тръбите на разпределителна мрежа. Установено е, че за стоманен въздухопровод с дължина 100 m, температура 15°C, налягане в началото на тръбата 7 bar, ефективност на компресорния агрегат 75% и с годишна експлоатация 2000 h се получава значително намаляване на енергийните загуби с нарастване на сечението на тръбата. Например удвояването на диаметъра намалява енергийните загуби повече от 30 пъти, което определя бързо компенсиране на по-големите начални инвестиции.

Б7. Обзавеждането за обработка на въздуха, включващо охладители, влагоотделители, изсушители, филтри, омаслителни и др., трябва да бъде избрано с възможно най-ниските падове на налягане при максималните работни условия. След като гореспоменатото обзавеждане е инсталирано, трябва да се спазват и документират препоръчаните от производителя процедури за правилна експлоатация и поддръжка.

Особено внимание трябва да се обърне на филтрите, тъй като тяхното замърсяване може да доведе до значителни хидравлични загуби. Известно е, че смукателните филтри защитават компресора от въздушните замърсявания с различен произход. Те трябва да се сменят редовно, особено в области със завишена концентрация на прах и насекоми. Големият пад на налягане в смукателните филтри намалява производителността и енергийната ефективност на компресорите.

Филтрите за сгъстен въздух са разположени след компресора и са предназначени да отстраняват замърсявания от различен произход – твърди частици, кондензат, масла и др. В зависимост от степента на пречистване, която се осигурява, то съществува голямо разнообразие от филтри. Като правило, колкото по-фин е филтърът, толкова по-голям е падът на налягане (хидравличните загуби). Филтрите за твърди частици създават значително по-малки падове на налягането в сравнение с филтрите, служещи за отстраняването на влагата и маслата. За даден филтър падът на налягането в него нараства с втората степен на дебита. В сила е и обратното - ако при даден дебит се използва

филтър с два пъти по-голяма номинална пропускателна способност, то загубите на налягане ще се намалят четири пъти.

В заключение могат да се дадат няколко най-обща препоръки, водещи до икономия на енергия, а именно:

- да се използва степен на филтрация само до нивото, необходимо за конкретното приложение.

- загубите на налягане във филтрите трябва да се следят внимателно и филтриращият елемент да се заменя според спецификациите на производителя или когато консумацията на енергия нарасне. За целта да се използват само преминали проверка манометри.

- намаление на загубите на налягане и съответно икономии на енергия могат да се получат чрез инсталиране на филтри в паралел или използването на преоразмерени по производителност филтри. Трябва да се обърне внимание и на факта, че прекомерното повишаване на загубите във филтрите често предизвиква и допълнителни енергийни загуби, дължащи се на скъсяване на работния цикъл на компресора.

В. Обемни загуби (теч на газ, утечка)

В промишлените компресорни системи утечките са значим източник на енергийни загуби. При нередовна и некачествена поддръжка на тръбните съединения, фитингите и крайното обзавеждане енергийните загуби достигат (20 - 30)%. Тяхното откриване и отстраняване, може да се сведе загубите под 10% от производителността на компресорната система. Опитът показва, че ликвидирането на утечките е най-бързото и леснодостъпно мероприятие за оптимизация на системите за сгъстен въздух. Обикновено направените за целта разходи се компенсират за по-малко от 6 месеца.

Начинът за регулиране работата на компресора оказва голямо влияние върху крайния икономически ефект от редуцията на утечките. Например, ако те се намалат с 10% в система с един ротационен компресор (най-често винтов), регулиран чрез дроселиране, ще се постигне икономия на енергия само около 3% поради ограничените възможности на метода. Същата редукция на утечките в система с честотно регулиране на компресора води до икономии от почти 10%.

Първата стъпка във всяка програма за намаляване на утечките е тяхната количествена оценка, която се извършва в непроизводствен период, при неработещи крайни консуматори. Задачата се решава много лесно, ако в системата има предварително инсталиран расходомер. При липсата на такъв също има начини за лесна оценка, макар и не толкова прецизна. Ако компресорите работят в режим включване/изключване или натоварване/разтоварване, трябва да се измерят съответните времена, когато се запазват само утечките. Например ако един компресор с номинална производителност $600 \text{ m}^3/\text{h}$ работи натоварен 2 min и е разтоварен или изключен за 3 min, то обемните загуби в системата могат да се оценят, като се раздели времето за работа натоварен на общото време натоварен плюс разтоварен - в случая $2/5 = 0.4$. Това показва, че компресорът в този режим на работа е натоварен 40% от времето и следователно утечките са $0.4 \times 600 = 240 \text{ m}^3/\text{h}$.

Друг прост метод изисква, освен секундомер, наличието и на достатъчно прецизен манометър. Първо, компресорът се изключва и се измерва времето, за което налягането спада между две фиксирани стойности, разположени малко по-ниско от точката на нормалното работно налягане и отговарящи на пад на налягането например около 1.5 bar. След това компресорът се включва и се измерва времето за повишаване на налягането между същите две точки. Тестът се повтаря няколко пъти и се изчисляват средните стойности на тези времена. Натоварването на компресора се определя, като се раздели времето за повишаване на налягането на общото време - за повишаване плюс спадане. Утечките се получават, като се умножи полученото число по производителността на компресора. При липса на разходомер трябва да се приеме декларираната от производителя стойност при съответната честота на въртене.

Следващата стъпка в програмата за намаление на утечките е откриването на източниците. При неработещо обзавеждане утечките често могат да се чуят. В среда със силен шум от машини и инструменти трябва да се използва преносим ултразвуков акустичен детектор. След като е установено приблизителното местоположение, точните места се уточняват със сапунена вода - това е един много сигурен метод, но доста трудоемък. Опитът показва, че най-често срещаните източници на утечки са различните съединения и фитинги, и отстраняването им се свежда просто до дозатягане или евентуално подмяна.

Превантивни мерки за ограничаване на утечките са:

- правилен монтаж на фитингите и съединенията с подходящите уплътнения;

- изолиране на неработещото обзавеждане от разпределителната система чрез подходяща спирателна арматура;

- ако е възможно, понижаване на системното налягане (ефектът от това бе коментиран по-горе);

- използване на висококачествени съединения и фитинги.

След като утечките се редуцират или отстранят, е необходимо регулиращата система на компресора да се настрои отново, за да се постигне възможно най-голямата енергийна ефективност.

Г. Рекулперация (регенерация) на топлината

Както вече бе отбелязано, почти 80% от консумираната електрическа енергия от индустриалните компресори се превръща в топлина. Подходящо проектираната рекулперраща система може да оползотвори 50 - 90% от наличната топлинна енергия за отопление и горещо водоснабдяване. При нови или реконструирани системи за състен въздух потенциалът за рекулперация на енергията влияе върху месторазположението на компресорите в предприятието.

Съвременните маслени винтови компресорни агрегати са идеални за рекулперация на топлина за отопление. Околният въздух може да се затопли чрез прекарването му през крайните охладители и маслоохладителите на компресора. Тъй като компресорните агрегати обикновено се доставят монтирани в подходящи шкафове и обзаведени с топлообменници, за изграждане на рекулперращата отоплителна система са необходими допълнително само въздухопроводи и

подходящи вентилатори. Въздухопроводът може да включва и управлявана с термостат клапа, така че през горещите периоди от годината топлината да се отделя извън помещението в околната среда. При такава система въздухът може да се загрее с 15 до 25°C над входната температура с до 90% ефективност на рекуперацията. Основното изискване при проектиране на подобни системи е, те по никакъв начин да не ограничават и затрудняват необходимия за охлаждането на компресора въздушен поток.

Д. Подходящ акумулиращ обем

Правилно подбраните ресивери могат да допринесат съществено за повишаване на енергийната ефективност и стабилизация на системното налягане.

Във връзка с това могат да се препоръчат няколко мерки:

- ресиверите да се разполагат възможно най-близо до компресорното оборудване;

- в повечето случаи при винтови компресори, регулирани чрез натоварване/разтоварване, е достатъчен акумулиращ обем от 10 l на всеки един m³/h от производителността на машината;

- когато ресиверите са изложени на екстремно ниски температури, трябва да се вземат мерки за предотвратяване на замръзването в дренажната система за кондензата. Ако е необходимо, да се използват ресивери в специално нискотемпературно изпълнение;

- в случаите, когато се налага изсушаване на въздуха, известно предимство има инсталирането на два ресивера - един преди и един след изсушителя.

Е. Оптимизиране на въздушните изсушители

Изсушителите могат да консумират значително количество сгъстен въздух или електроенергия и често имат ограничени възможности за регулиране на производителността. Добре е да се има предвид следното:

- при поръчка на обзавеждане да се имат предвид енергоспестяващите хладилни изсушители с циклично действие.

- да се избягва изсушаването на въздуха до нива, по-ниски от реално необходимите за конкретното приложение.

Ж. Температура на газа при засмукване

Известно е, че с намаляване на началната температура на газа се намалява и необходимата работа за сгъстяването му. От друга страна, компресорът непрекъснато генерира топлина, която се разсейва в помещението и повишава температурата. За практически нужди може да се приеме, че намаляването на температурата на засмукване с 3°C намалява консумираната мощност с 1%. За целта компресорът трябва да се разположи в добре вентилирано помещение с отвеждане на горещия въздух настрани от входа на компресора. Смукателният въздуховод трябва да довежда въздух от възможно най-студената част на помещението или да започва на подходящо място извън него в най-сенчестата страна.

З. Въздухопроводна разпределителна система

В практиката се използват две принципни схемни решения - *линейна система* с един главен въздухопровод и дълги отклонения, и *затворена кръгова*

система, позволяваща протичане към даден консуматор от няколко места. В повечето случаи кръговата система, при еднакви други условия, е по-доброто решение от енергийна гледна точка.

Установено е, че при кръговата система максималният пад на налягане е по-малък – 0.19 bar срещу 0.58 bar в линейната система. За кръговата въздухопроводна система мощността, изразходвана за преодоляване на хидравличните съпротивления, е повече от два пъти по-малка – 4.2 kW срещу 10.1 kW - при линейната [13].

11.2. Турбини

Турбината е ротационен двигател, който извлича енергия от флуиден поток и я преобразува в полезна работа. Най-простите турбини имат една движеща се част, която е вал или барабан с прикрепени перки. Ранните примери турбина са при вятърни мелници и водни колела. Газовите, парните и водни турбини обикновено имат кожух около перките. В продължение на много години парните турбини са били използвани вместо на електродвигатели.

Както и в системата на компресора, консумираната енергия от една турбина включва общата енергия, която се изисква от задвижваното оборудване (например генератор) и загубите на енергия от задвижващото оборудване и турбината. Затова е желателно да се изберат високоефективни турбини, дискове и задвижваното оборудване.

Устройства, подобни на турбина, но работещи в обратна посока, са компресор или помпа. Аксиалният компресор в много газови турбинни двигатели е типичен пример.

Работният флуид съдържа потенциална енергия (на налягането) и кинетична енергия (на скорост на потока). Флуидът може да бъде свиваем (газ) или практически несвиваем (течност). При турбините се използват няколко физически принципи за използване на наличната енергия:

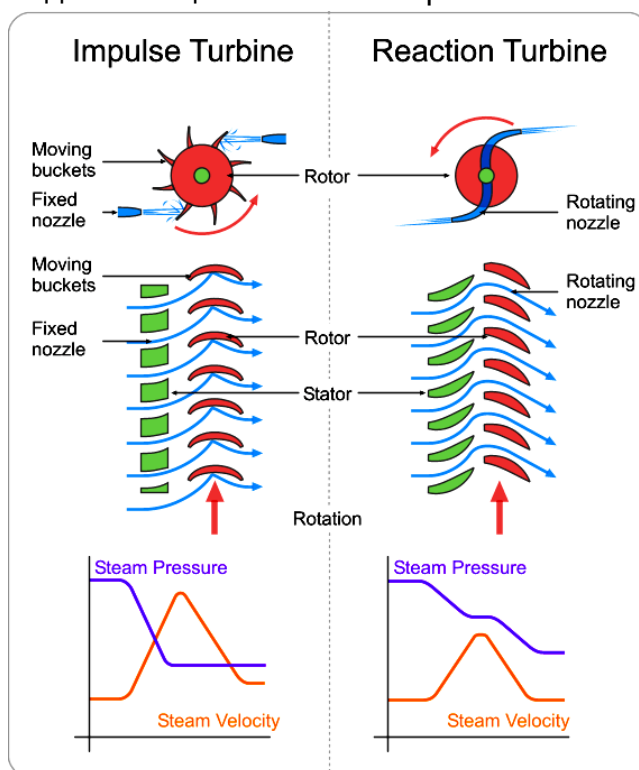
Импулсни турбини. При тези турбини се променя посоката на потока течност с висока скорост или на струята газ. В резултат импулсът на флуида завърта турбина и потокът напуска турбината с намалена кинетична енергия. Не се променя налягането на течността или на газа в лопатките на турбината, съответно в случай на парна или газова турбина, а спада на налягането се извършва в стационарните лопатки (дюзите).

Преди да се стигне до турбината, потенциалната енергия на налягането на флуида се променя в скорост, като флуида се ускорява с дюзи. Пелтон турбините и турбините на Лавал използват изключително този процес. Импулсните турбини не изискват налягане около ротора, тъй като струята флуид се създава от дюзата, преди да достигне лопатките на ротора. Предаването на енергия в импулсните турбини се описва от Втория закон на Нютон.

Реактивни турбини. Тези турбини развиват въртящ момент, като реагират на налягането или масата на газ или течност. Налягането на газа или течността се променя, когато преминава през лопатките на ротора на турбината. Работният флуид трябва да има необходимото налягане, тъй като той действа върху площта

на турбината или турбината трябва да бъде напълно потопен в потока флуид (както е при вятърните турбини). *Франсис турбините* и повечето парни турбини използват тази концепция. За да се използва ефективно разширяването на газа, при свиваеми работни флуиди обикновено се използват многостепенни турбини. Предаването на енергия при реактивните турбини се описва от Третия закон на Нютон.

При парни турбини, използвани за морски приложения или за наземното производство на електроенергия, типът реактивна *Парсънс турбина* би изисквала приблизително двойно по-голям брой на редовете лопатки, отколкото импулсната *турбина на Лавал* при същата степен на преобразуване на топлинна енергия. Това прави турбината Парсънс много по-дълга и по-тежка, макар общата ефективност на реактивната турбина да е малко по-висока от еквивалентната импулсна турбина за една и съща топлинна енергия.



Фиг. 11.7. Импулсни и реактивни турбини.

11.2.1. Типове турбини

Парни турбини се използват за производство на електрическа енергия в топлоелектрическите централи. За производството на пара от вода се използват въглища, мазут или ядрена енергия.

Газовите турбини понякога се възприемат като турбодвигатели. Такива двигатели обикновено се характеризират с вентилатор, компресор, горивната камера и дюза (вероятно и с други елементи) в допълнение към една или повече турбини.

Газовите турбини имат следните особености:

- малки размери с високо съотношение мощност - тегло;
- няма изискване за външно охлаждане;

- ниско разходи за поддръжка;
- нисък процент на повреди;
- сравнително чисти емисии.

11.2.2. Подобряване на енергийната ефективност на турбините

- Редовно проверявайте и почиствайте или заменяйте водните филтри за въздух.
 - Редовно проверявайте за вибрации.
 - Уверете се, че се работи при оптимални параметри на парата и кондензата.
 - Уверете се, че газовите турбини работят при оптимален условия на входа и изхода.
 - Уверете се, че всички системи за контрол функционират правилно.
 - Направете промяна или преместване на входящия въздух, за да се осигури хладен въздух за газови турбини.
 - Възстановяване на произведената топлина от охладителя на маслото на газовата турбина.
 - Инсталирайте оптимална изолация на оборудването.
 - Оптимизиране на работата на системата чрез добавяне или преместване на компоненти за контрол (напр. за температура и сензори за налягане).
 - Загривайте газовата турбина с въздуха от горенето на отработените газове (например с регенератор).
 - Използвайте топлината от изгорелите газове на газови турбини.
 - Промяна на входа и изхода на тръбопроводи за намаляване на хидравличните загуби на налягането.
 - Усъвършенстване на компонентите за турбините за подобряване на ефективността.

12. Измерване, отчитане, наблюдение и средства за автоматично управление

Автоматичното управление като дейност обхващаща контрола и регулирането, по време на производствения процес, на огромен брой променливи стойности на температура, налягане, поток, ниво и скорост.

Средствата за автоматично управление могат да бъдат разделени на две части:

- управление на ОБК (*отоплителни, вентилационни и климатични системи, по-известни като HVAC*); и
- управление на технологични процеси.

И двете включват много широки области, като последната варира от управлението на обикновена печка до цялостна производствена система или технологичен процес, каквито може да съществуват например в един голям нефтохимически комплекс.

Специалистът по автоматични системи на управление трябва да има различни умения – познания в областта на машиностроенето, електротехниката, електрониката и пневматичните системи, умения за проектирането на ОВК на работно ниво и приложенията на процесите и, на днешен етап, все по-дълбоки компютърни познания и умения в цифровите комуникации.

Смисълът на тази глава е да се вникне в практическите и теоретични аспекти на автоматичното управление. То се свежда до контрола на процесите, при които като работни флуиди се използват пара, вода, сгъстен въздух и горещи масла. Управлението обикновено се постига чрез изменение параметрите на флуидния поток посредством клапани. За флуидите, споменати по-горе, обикновено се измерва и се реагира на измененията на температура, налягане, ниво, влажност и дебит. Почти винаги реакцията на измененията на тези физически параметри трябва да бъде за определен период от време, т.е. скоростта има значение. Комбинираното действие на клапана и неговия изпълнителен механизъм във времето и строгият контрол на измерваната променлива ще бъде обяснено по-късно. Управлението на работния флуид не се ограничава до клапаните. Някои технологични потоци се управляват от помпи или вентилатори с променлива скорост.

Наред с икономията на енергия, *системите за управление на енергията* (EMS) съхраняват активността на отрасъла при препроектиране и подобряване на неговите продукти. Системите за енергиен мениджмънт са компютъризирани системи за управление, прилагани най-вече в електроенергийната промишленост, но и от големи производители с техни собствени електроцентрали. Автоматичните управления са били изменяни и препроектирани за по-ефективно използване на енергията в рамките на тези системи и за ОВК модулите в сградите, в които те се намират.

Компютъризирани системи за управление на енергията в по-малък мащаб се инсталират и в търговски сгради. Тези системи съчетават контрол и управление на ОВК модули с охрана, осветление и системи за пожарна безопасност. Хотелите, универсалните магазини и магазините за хранителни стоки, всички големи потребители на енергия започват прилагането на системите за управление на енергията през 1980 г. Например в хотелите автоматичното управление на отоплението и климатичните инсталации се регулира от датчици в отделни помещения, които регистрират дали стаите са заети, а средствата за управление са свързани с рецепцията на хотела, за да се реагира на постъпващите и напускащите гости. При универсалните магазини и магазините за хранителни стоки системите за управление на енергията също спестяват енергия и пари. В тези случаи централизирана мрежа от компютъризирани системи осъществява контрол при веригите магазини.

Индустрията навлиза в 1990-те години на миналия век с малък ръст след спада в строителството на жилищни и търговски сгради. Този скромнен растеж, заедно с малки маржове на продажбите, ограничава научноизследователската и развойна дейност при новите технологии и инвестициите в нови съоръжения. В допълнение, в резултат на слабата икономика по това време, много компании

избират да осъвременят своите съществуващи системи за ОВК. Модернизирането увеличава търговското възстановяване и обслужване, а продажбите на нови ОВК системи се съживява към края на десетилетието.

През 2000-та година индустрията е доминирана от големи компании, които продължават да се конкурират в един наситен пазар чрез повишаване на ефективността при техните продукти като подобряване на контрола на обръщението, на дизайна на компресорите и автоматизацията на мрежата. Продуктите стават все по-стандартизирани, принуждавайки компаниите да се диференцират чрез други средства, например чрез разширяване на глобалния пазар. Освобождаването на цените на електроенергията в бъдеще се очаква да бъде значим фактор за развитието на ОВК индустрията.

12.1. Необходимост от автоматични управляващи устройства

Три са основните причини, обосноваващи необходимостта от автоматично управление в дадено производствено предприятие или сграда:

- **Безопасност** – Инсталацията или процесът трябва да бъдат безопасни при експлоатация. Колкото по-сложни или опасни са инсталацията или процесът, толкова по-голяма е необходимостта от автоматични управляващи устройства и от правила за безопасност.

- **Стабилност** - Инсталацията или процесите трябва да работят непрекъснато, предсказуемо и стабилно, без отклонения или непредвидени спирания.

- **Точност** - Това е най-важното изискване в предприятията и сгради за предотвратяване на аварийни ситуации, повишаване качеството и производителността и поддържане на необходимия комфорт. Това са основите на икономическата ефективност.

Други желателни преимущества като икономия, скорост и надеждност също са важни, но именно по трите главни параметри - безопасност, стабилност и точност, ще бъде оценявано всяко приложение на автоматично управление.

12.1.1. Елементи на автоматичното управление

Регулируемата величина може да бъде температура, налягане, влажност, ниво или дебит (разход). Това означава, че измервателният елемент може да бъде термометър, датчик или преобразувател на налягане, нивомер, влагомер или дебитомер (разходомер).

Управляваният обект може да бъде пара, вода, въздух, електричество, нефт или газ, докато управляващото устройството може да е клапан, демпфер, помпа или вентилатор.

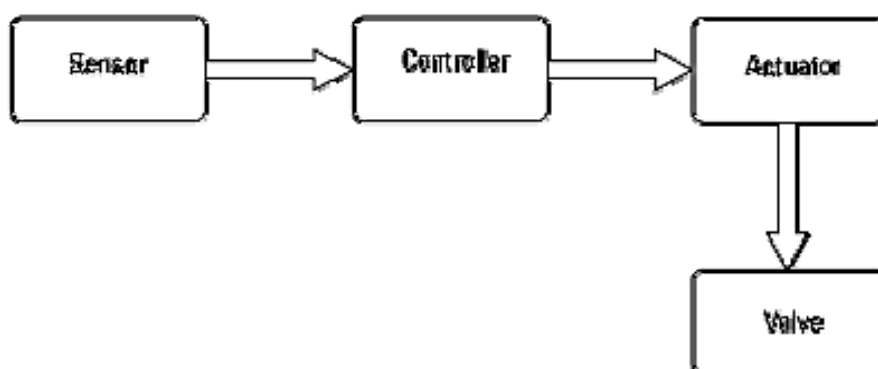
Датчикът (сензор) подава сигнал към регулатора (контролер). Регулаторът, който може да приема сигнали от повече от един датчик, въз основа на този сигнал(и) определя дали се изисква промяна в управляващата величина. След това той подава команди към изпълнителния механизъм за преместване на клапана на различна позиция - отваряне или затваряне, в зависимост от изискването.

Регулаторите обикновено се класифицират по източниците на енергия, които ги захранват, като *електрически, пневматични, хидравлични* или *механични*.

Изпълнителният механизъм може да се разглежда като двигател плюс задвижка. Изпълнителните механизми също се класифицират според захранването, както регулаторите.

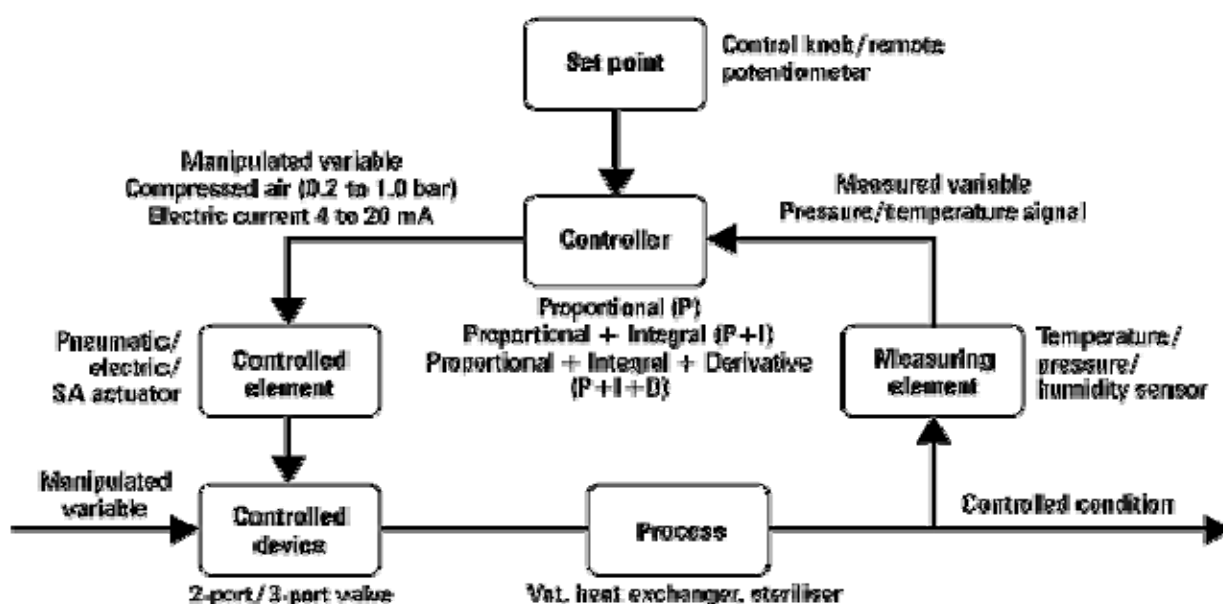
Клапаните се класифицират по действието, което извършват за отваряне или затваряне на отвора за регулиране на разхода и по конфигурацията на тялото им, например дали те се състоят от плъзгащ шпиндел или имат въртливо движение.

На Фиг. 12.1 са показани основните съставни части на базова система за управление.



Фиг. 12.1. Компоненти на автоматичното управление.

Ако елементите на системата са комбинирани с части (или устройства) на системата, може да се види връзката между „Какво трябва да се направи?“ и „Как се прави?“ (Фиг. 12.2).



Фиг. 12.2. Типична комбинация от устройства за управление на производствени процеси с елементи на системата.

12.1.2. Точност

Важно е да се знае как се изразява точността на измерването, за да отговарят измервателните уреди на конкретните изисквания.

Общите условия за измерване са:

- Граници на измерване – избор на диапазона на измерване, например на температура или налягане.
- Долна граница на диапазона на измерване - минималната стойност на измерваната величина, която уредътът може да покаже.
- Горна граница на диапазона на измерване - максималната стойност на измерваната величина, която уредътът може да покаже.
- Обхват на уреда - частта между долната и горната граница на измерване.

Точността на един уред се описва чрез единиците на измерената променлива величина и може да бъде изразена като процент от

- обхвата на уреда;
- горната граница на диапазона на измерване; или
- посочената стойност или диапазон на измерване.

Точността често се подобрява чрез намаляване на обхвата, така че обхватът на уреда трябва да се настройва на минимума, който съответства на очакваните промени на измерваната величина. Въпреки това, повторните измервания често са по-важни от абсолютната точност. Точността на системата зависи от точността на нейните компоненти и може да се определи само чрез калибровка на системата.

Интегрирането на измервателни уреди и устройства за управление в една компютеризирана система за управление изисква усилване на началния сигнал и цифровизацията му в аналогово-цифров преобразувател. Въпреки, че има много приложения за аналогови уреди и основни цифрови измервателни уреди, компютърно-базираните уреди (с вграден компютър) осигуряват допълнителна гъвкавост и мощ на системата. Цифровият вход се обработва от компютъра на уреда (т.е. с прост чип), а изходните данни могат да бъдат получени чрез самопишещ уред със записване на лента, осцилоскоп или принтер, или да бъдат изведени на екрана на монитора.

12.2. Видове системи за управление

Системите за управление могат да бъдат опростени чрез разделянето им на отделни функционални блокове. Когато се разглежда в по-малки съставни части, всяка система става по-проста за разбиране. Крайните условия на изхода на блоксхемата са резултат от работата на системата за управление. Това е и причината за съществуването на системи за управление.

Повечето системи за управление на ОВК са проектирани за поддържане на комфортни условия на хората и ще управляват крайните стойности на температурата, влажността и налягането.

Типовете системи за управление включват:

- Автономни системи за управление

- Пневматични системи за управление
- Електрически системи за управление
- Електронни системи за управление
- Цифрови системи за управление

12.2.1. Автономни системи за управление

Автономните системи за управление съчетават в един модул регулатора и управляваното устройство. При тази система промяната в управляваната величина се използва за задействане на управляващото устройство.

Един пример за автономна система за управление е автономен клапан с паров, газов или течен сензор за температура, който използва преместването на сензорната течност за позициониране на клапана. Друг пример е парен или воден клапан за регулиране на налягането, който използва лека промяна на налягането в управляваната среда за задействане на управляващото устройство.

12.2.2. Пневматични системи за управление

Пневматичните системи за управление използват сгъстен въздух за управление на изпълнителния механизъм. При тях въздухът се подава към регулатора при постоянно налягане и регулаторът регулира налягането на изхода на управляващото устройство според скоростта на промяна на натоварването. Обикновено се използва сгъстен въздух при 20 psi (*паунд на квадратен инч*, 1 psi = 0.00689476 MPa). Управляващото устройство обаче може да работи и при по-високи налягания – до 60 psi.

Предимства на пневматиката са, че изпълнителните механизми на средствата за управление с клапани и демпфери не са скъпи, лесно се поддържат и са рентабилни. Технологиата е достатъчно напреднала, средствата за управление са надеждни и различните компоненти на производителя могат да се използват взаимозаменяемо.

Недостатъците са следните: те се нуждаят от чист сух въздух, редовно калибриране на средствата за управление и персонализирани сложни панели за управление за съвременните температурни системи за управление.

12.2.3. Електрически системи за управление

Електрическите системи за управление използват електрическа енергия за хранване на управляващото устройство. Тази система може да има две работни положения, при които регулаторът превключва даден електромотор, резисторен нагревателен елемент или соленоидна намотка или директно, или чрез микропроцесорно управлявани електромеханични устройства. Като алтернатива системата може да бъде пропорционална, при което управляващото устройство се задвижва от електродвигател. Предимства на двупозиционните средства за управление са, че те са прости и надеждни и използват несложна нисковолтова електротехнология. Недостатъците са, че изпълнителните им механизми и задвижванията могат да бъдат относително скъпи.

12.2.4. Електронни системи за управление

Електронните системи за управление използват полупроводникови елементи в електронните схеми за създаване на управляващи сигнали в отговор на информацията от чувствителните елементи (датчици). Предимствата им са, че модулираните средства за управление са надеждни и изискват по-малко калибриране и електроенергия. Недостатъците са, че изпълнителните механизми и контролерите са скъпи.

12.2.5. Цифрова система за управление

Цифровите системни контролери използват електронни технологии за откриване, усилване и обработка на информацията от сензора. Обработката може да включва сложни логически операции и да завършва с изходен команден сигнал. Често е необходимо този изходен команден сигнал да се преобразува в електрически или пневматичен, способен да работи с управляваното устройство. Предимствата са, че средствата за управление са изключително надеждни и изискват минимална поддръжка. Недостатъците са първоначалните разходи, които може да бъдат високи.

12.3. Оборудване за автоматично управление

12.3.1. Чувствителни елементи (сензори, датчици)

Необходимо е специфично базово полево оборудване (хардуер), за да функционира правилно системата за управление. Датчиците осигуряват подходяща информация относно системата за управление на ОВК. Трябва да има канали за връзка, за да се предава информацията от датчика към управлението. Често ги наричат входове, като приетите сигнали носят аналогова или двоична информация.

Аналоговите входове предават променливи сигнали, като например температурата на външния въздух. Двоичните входове предават сигнали за състоянието, например на вентилатор или помпа - ВКЛ или ИЗК. Тази мрежа от полеви хардуер трябва да функционира правилно, за да бъде ефективна системата за управление на сградата. Особеност на професионалното управление на сграда е цялата мрежа от датчици, контролери и връзки да остава функционираща и точна при различни обстоятелства. Това налага инвестиция в ефективна превантивна поддръжка и непрекъснат контрол на отказите и корекциите, но води до големи дивиденди поради осигуряването на добре управлявана и рентабилна околна среда.

Видовете чувствителни елементи според измерваната величина са за:

- Температура
- Влажност
- Налягане
- Качество на въздуха

12.3.2. Регулатори

Типовете регулатори са:

- Двупозиционни
- Пропорционални (P)
- Пропорционално - интегрални (PI)
- Пропорционално-интегрално-диференциални(PID)

Регулаторите са устройства, генериращи управляващи въздействия, които са реакция на системата в съответствие с информацията от чувствителния елемент. Регулаторите играят важна роля за поддържане на желаните условия на сградите.

Регулаторите произвеждат пет различни вида управляващи въздействия за управление на жизнената среда в сградите при желаните настройки. Тези типове управляващи въздействия ще бъдат представени, като се започне с най-простия и се стигне до най-сложния. Съществуват и други видове управляващи въздействия.

12.3.3. Управляващи устройства

Управляващите устройства включват:

- Клапани
- Редуцир-вентили
- Задвижки за клапани и редуцир-вентили

Почти всички ОВК системи за управление изискват някакъв тип управляващо устройство. Управляващите устройства за регулиране на потока от вода и пара се наричат клапани, а за регулиране на въздушния поток се използват редуцир-вентили (дампери). Изпълнителният механизъм (задвижката) получава команден сигнал от регулаторите и задвижва управляемостта устройство - обикновено клапан или редуцир-вентили.

12.3.4. Съвременни технологии за ефективно управление на съоръженията

Напредъкът в технологията води до пряко цифрово регулиране, регулиране на осветлението, управление на пожаробезопасността, управление на безопасността, разпределителните мрежи, персонални компютри и сложни схеми. Електронни чипове заменят пневматичните контролери, персонални компютри (PC) заменят настолните компютри, софтуерни програми заменят хардуерната логистика.

Всяко ново постижение в електронната и комуникационната промишленост веднага се взема от разработчиците на *системи за управление на оборудването* (СУО). Обърнете внимание, че СУО понякога се отъждествяват като СУЕ, но СУЕ са *системи за управление на енергията*, докато СУО са фокусирани върху друго използване на данните, извън намаляване на енергийните загуби, като компютризирано управление на обслужването. Системите сега са по-бързи и с по-големи възможности от всякога. Софтуерните програми, електронните компоненти, сензорите, задвижващите механизми, хардуерното оборудване и комуникационните мрежи се интегрират, споделят информация и работят заедно.

Общата цел на СУО е да улесни работата на хората, да направи оборудването по-ефективно и да осигури на хората удобство и безопасност.

СУО може да спести пари за собствениците на сгради по няколко начина:

- Чрез увеличаване на производителността на персонала посредством поставяне на ежедневни персонални рутинни задачи за всеки служител.
- Чрез намаляване на потреблението на енергия (с програми за управление на енергията).
- Чрез идентифициране на оборудването, което се нуждае от поддръжка, а дори и с редуване в използването на някои видове оборудване.
- Чрез управление на информацията.

При анализ на използването на всяка СУО трябва да се дефинират желаните функции, да се направи реалистичен финансов анализ и да се определи необходимото време за обучение на персонал, който да може да използва системата.

12.4. Възможности на енергийния мениджмънт

- Необходими са **програми за редовна проверка и поддръжка**, ако искаме от приборите да се получават надеждни данни. С използването на електрониката днес много уреди са самокалибриращи се, спестявайки по този начин време и усилия и предлагащи постоянна точност. Въпреки това за поддържащата система също трябва да се полагат грижи (например да се гарантира, че състеният въздух е без влага и замърсявания и че филтърът редовно се поддържа).

Управлението на апаратурата, измервателното и изпитвателното оборудване, включващо приложим тестов софтуер, са добре обхванати от широко използваните международни стандарти по качество на системите за управление на качеството и околната среда. Дори предприятия, които все още не са въвели тези стандарти, трябва да бъдат посъветвани да възприемат принципите за рационално използване на тяхното контролно-измервателно оборудване, на апаратурата за измерване и мониторинг.

- **Записи.** Измерването, измервателната апаратура и оборудването за контрол не се използват ефективно без добро съхраняване на записите. Архивирането е особено важно за процеса на идентифициране на отклонения от нормалното функциониране и промени в енергийната ефективност. Важната информация трябва да се регистрира редовно, ръчно или автоматично. Евтините електронни регистратори на данни (логери) с много изискуеми функции и възможности сега са достъпни и събирането и записването на данни никога не е било толкова лесно.

- **Анализ и проследяване.** При измерване или контрол на действията, за да бъдат те целесъобразни, трябва да има последващ анализ на записите за производителността на контролируемото оборудване (улеснено от много софтуерни пакети, предлагани на пазара) и проследяване на отклоненията от оптималните стойности. Понякога, разбира се, трябва първо да премине подходящ период, за да се потвърди, че отклонението е системно, за да се

установи тенденция и да се потвърди необходимостта от коригиращо или превантивно действие. В други случаи, например просто при невнимание, последващите обработка и анализ трябва да станат незабавно.

- **Придобиване на нови измервателни и контролни уреди с оптимална точност.** Например котелни инсталации и други съоръжения, които използват горивни процеси, консумират значителни количества гориво. За тях е оправдано закупуването на анализатор на кислорода и на горивния процес, тъй като една правилно настроена горивна система може бързо да изплати разходите за оборудване. Подобно на това, ценна инвестиция представлява оборудването, което открива утечки на въздух под налягане. То ще се изплати за кратко време.

- **Правилен монтаж.** Не трябва да се приема, че една съществуваща инсталация функционира правилно, само защото тя работи в продължение на години. Често неточности в измерването са резултат от неправилна инсталация и това трябва да се коригира. Вече са на разположение дистанционни техники за измерване, със съответно по-лесни инсталационни изисквания.

- **Правилно проектиране** на измервателните системи.

- **Сензорите са в необичайни условия** (напр. вратите към хладилния склад са оставени открити; състояние на препълване на нивото на резервоара).

- **ОВК контролни датчици.**

- **Подмяна** на пневматичното управление с директно цифрово управление.

- **Специфично технологично оборудване или приложение** (например, регулиране на върхово потребление на котел).

- **Обновяване или разработване** на система за измерване и контрол и/или нейното интегриране в цялостна компютъризирана система за управление на енергията в съоръжението.

12.4. Екологични съображения

Измерването, измервателната апаратура и оборудването за контрол спомагат за идентифициране на загубите на енергия, което означава откриване на неефективно използващата енергия оборудване (и между другото, позволява по-добра обосновка за необходимостта от подобрения, включително капиталови вложения). Гарантирайки, че оборудването работи с максимална ефективност - пряко или косвено - разходът на гориво и вредните емисии се свеждат до минимум.

С помощта на тези инструменти методологията за проследяване (мониторинг) и контролиране спомага за ефективно управление на енергията и комуналните услуги.

13. Печи и сушилни

Много съоръжения включват горивно оборудване (например печи, сушилни, фурни) и консумират гориво директно за процеса на нагряване, като не

предават топлина чрез топлообмен. При тези агрегати топлината се предава директно или индиректно от пламъка към технологичния материал.

Пещите, фурните и сушилните, които работят при много висока температура, предлагат широки възможности за използване на отделяната топлина и за икономия на енергия. Преди да се разгледат възможностите за утилизация на топлината обаче трябва да се направи следното:

- Да се проучат съществуващите практики и се прецени действително ли е нужна толкова голяма топлина в конкретния случай?
- Уверете се, че тези системи работят при максимална ефективност. Първо се занимайте с енергийните загуби чрез излишъка на въздух, температурата на димните газове, радиацията и топлопроводността.

13.1. Пещи

Пещта е съоръжение, използвано за топене на метал при леене или за нагриване на материали с цел изменение на тяхната форма (валцуване, коване и др.) или на техните свойства (топлинна обработка). Това е сложен агрегат, в който се генерира топлина от друг вид енергия и този процес е свързан с предаването на топлина в зоната на производствения процес. В технологично отношение това е обединение на топлогенератор и топлообменник.

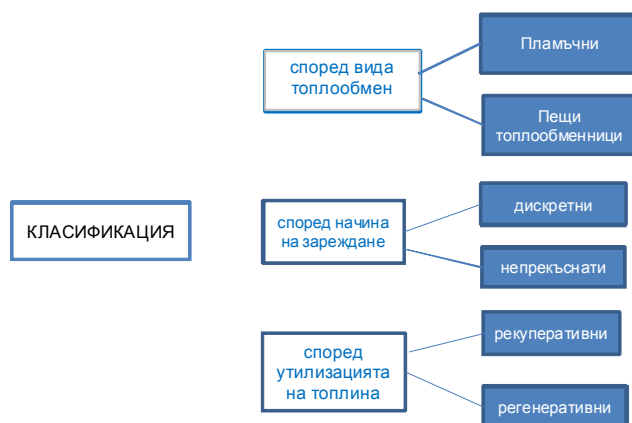
13.1.1. Типове и класификация на пещите

Според начина на генериране на топлина пещите са групирани най-общо в два типа - пламъчни пещи (използващи горива) и електрически пещи. В зависимост от използваното гориво пламъчните пещи се делят още на мазутни, дизелови, въглищни или газови.

Според режима на зареждане на материала пещите могат да се класифицират като пещи с периодично действие (дискретни) и пещи с непрекъснато действие.

Според начина на оползотворяването на топлината от изходящите газове се делят на рекуперативни и регенеративни пещи.

Друг тип класификация на пещи е направена въз основа на режима на преноса на топлина, режима на зареждане и начина на оползотворяване на топлината, както е показано на фиг. 13.1 по-долу.



Фиг. 13.1. Класификация на пещите

Високотемпературните пещи се използват в различни керамични промишлени предприятия. Тези пещи за обработка на керамика са прецизно проектирани и са изработени от висококачествена стомана във формата на ковани детайли, отливки и метални компоненти. Те се хранят с дизелово гориво, с газ или са с комбинирани газо-мазутни горелки, така че са екологично безвредни за природата.

Високотемпературни пещи се използват и при високотемпературни процеси като нормализиране, закаляване, снемане на напрежение, термична обработка на сплави, отгряване и отвързване. Преди инсталиране на високотемпературни пещи, за поддържане на стандарти за високо качество на изходните продукти, трябва да се гарантира, че те са произведени при използване на най-качествените суровини и са основно тествани за различни параметри и работни режими. Високотемпературните пещи се предлагат в различни форми и размери в зависимост от спецификациите и изискванията на клиента. Инсталирането на качествени високотемпературни пещи може много да повиши нивото на вашия бизнес.

Тъй като продуктите на димните газове осъществяват директен контакт с материала, от значение е вида на избраното гориво. Например някои материали не понасят сяра в горивото. Също така използването на твърди горива генерира прахови частици, които могат да се смесят с материала. Следователно болшинството от пещите използват течно или газообразно гориво или пък електрическа енергия. Индукционно-дъговите топилни пещи за стомана и чугун използват електроенергия. Топилните пещи за цветни метали използват течно гориво.

Течно гориво се използва основно при подгряване и термична обработка на материала. В пещите, където е нежелателно наличието на сяра, се използва леко дизелово гориво. Ключът към ефективна експлоатация на пещта е в пълното изгаряне на горивото при минимален излишък на въздух.

Пещите работят с ефективност под 7% в сравнение с до 90% при други видове горивни инсталации, напр. котлите. Това се дължи на високата температура, при която пещите трябва да работят, за да отговорят на изискванията на търсенето. Например при пещ, нагряваща материала до 1 200° С, ще има отработени газове с поне 1 200° С, което води до голяма загуба на топлина през комина. Въпреки това подобрения по отношение повишаване на тяхната ефективност могат да се осъществят чрез методи като подгряване на материала, подгряване на въздуха за горенето и други системи за оползотворяване на изходящата топлина.

Ковашки пещи. Ковашката пещ се използва за подгряване на заготовки и слитъци за постигане на температура, необходима за коване на материала. Температурата на пещта се поддържа от 1200 до 1250°С. Ковашките пещи използват една отворена огнищна система и голяма част от топлината се предава чрез излъчване. Типичното зареждане на ковашката пещ е 5 до 6 тона при работеща пещ в продължение на 16 до 18 часа дневно. Пълният цикъл на обработка може да бъде разделен на (I) време за подгряване (II)

продължителност на темпероването (нагриването) и (III) време за изковаване. Специфичният разход на гориво зависи от вида на материала и броя на необходимите подгриванея.

Пещи на станове за валцуване.

- Пещ с периодично действие: Камерната пещ се използва при стан за повторно валцуване с периодично действие. Пещта подгрива скрап, малки слитъци и блокове с тегло от 2 до 20 кг. за повторно валцуване. Зареждането и изваждането на материала се извършва ръчно и крайният продукт е във формата на пръти, ленти и др. Работната температура е около 1200°C. Общото време на цикъла може да бъде допълнително разделено на време за нагриване и време за повторно валцуване. По време на подгриването материалът се нагрива до необходимата температура и се подава ръчно за повторно валцуване. Средната производителност на тези пещи варира от 10 до 15 тона на ден, а специфичният разход на гориво варира от 180 до 280 кг. въглища / тон нагриван материал.

- Тласкателна проходна пещ: Технологичният поток и работните цикли на една тласкателна проходна пещ е същият, като този на пещта с периодично действие. Работната температура е около 1250°C. Обикновено тези пещи работят от 8 до 10 часа с производителност от 20 до 25 тона дневно. Материалът (или шихтата) възстановява част от топлината в димни газове при движението му надолу по дължината на пещта. Усвояването на топлина от материала в пещта е бавно, стабилно и еднакво по цялото напречно сечение, в сравнение с пещта с периодично действие.

Пещи с непрекъснато нагриване на стоманата. Основната функция на една нагривателна пещ е да се повиши температурата на парчето стомана обикновено между 900°C и 1250°C, докато тя стане достатъчно пластична, за да се пресова или валцува до желаното сечение, размер или форма. Пещта трябва да отговаря на специфични изисквания и цели по отношение на скоростта на нагриване на материала поради металургични и производствени причини. При непрекъснатото нагриване стоманеният материал образува непрекъснат поток на материал и се нагрива до желаната температура при преминаването му през пещта.

Нагривателни пещи с непрекъснато действие. Нагривателните пещи с непрекъснато действие са категоризирани основно по метода, по който материалът се транспортира през пещта. Съществуват два основни метода:

- Шихтата образува поток от материал, който се изтласква през пещта. Такива пещи се наричат тласкателни проходни пещи.
- Материалът се поставя върху подвижно огнище или поддържаща конструкция, за транспортиране на стоманата през пещта. Тези типове включват клатеща се пещ, пещ с ходещ под, пръстеновидна пещ с въртящ се под и непрекъснати рециркуляционни тележни пещи с непрекъснато действие.

Основното съображение по отношение на използването на енергията на пещта е, че отворите на входа и на изхода трябва да са минимални по размер и да са така конструирани, че да се предотвратява инфилтрацията на въздух.

- Тласкателни проходни пещи: Тласкателната проходна пещ е доста разпространена в стоманодобивната промишленост. Тя има относително ниски разходи за монтаж и поддръжка в сравнение с пещите с подвижен под. Пещта може да има стабилен под, но също така е възможно материалът да се тласка по протежение на приспособленията за плъзгане с водоохладени опори, които позволяват нагряването на горната и долната повърхност на материала.

Тласкателните пещи обаче имат някои недостатъци, както следва:

- Често повреждане на огнеупорното дъно и следи от плъзгачите на пещта върху материала;
- Загубата на енергия с водата за охлаждане на плъзгачите и поддържащата конструкция за материала при пещите с горно и долно запалване има пагубен ефект върху използването на енергия;
- Изпразването на пещта трябва да бъде съпътствано от зареждане;
- Размерът и теглото на материала и дължината на пещта са ограничени от триенето и от опасността от стифоване на материала;
- Не е възможно едно цялостно нагряване на материала.

- Пещи с подвижен под: Пещта с подвижен под позволява материала да бъде транспортиран през пещта на отделни стъпки. Тези пещи имат няколко привлекателни функции като проста конструкцията, лесно изграждане, възможност за осигуряване на различни размери материал (в определени граници), незначителни загуби на вода и енергия за охлаждане и минимални физически следи върху материала.

Основният недостатък на пещите с подвижен под е, че долната повърхност на материала не може да бъде нагрявана. Това може да се избегне до известна степен чрез поддържане на големи разстояния между частите на материала. Малките пространства между отделните части на материала ограничават нагряването на страничните повърхности и увеличават опасността от неприемливи температурни разлики в рамките на материала при отпускане. Следователно времето за престой на материала може да бъде дълго, вероятно няколко часа, и това може да има неблагоприятен ефект върху продукцията, поради разслояване и окалина

- Ротационни пещи: Ротационните пещи са с тенденция да заменят рециркулационните пещи с подвижен под. Ефектите от нагряването и охлаждането на талигите са елиминирани, така че загубите от акумулиране на топлина са по-малки. Въртящото огнище обаче има по-сложен дизайн - с пръстеновидна форма и револвиращо огнище

- Пещи с подвижно огнище и непрекъсната рециркулация: Тези типове пещи с подвижно огнище се използват за компактен материал с различни размери и геометрия. При пещите с подвижно огнище, материалът се поставя върху талига с огнеупорно огнище, която преминава през пещта с други талиги, като при вагони на влак. Цялата дължина на пещта е винаги заета от талигите. Пещите с подвижно огнище са дълги и тесни, и недостатъците им произтичат от недоброто уплътняване на луфтовете между талигите и черупката на пещта, трудното

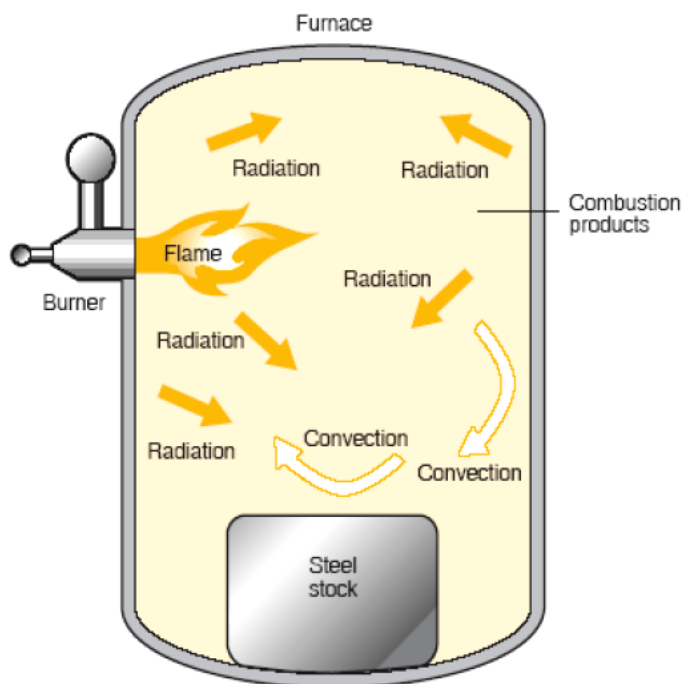
отстраняване на окалината и трудното запалване през малката ширина на огнището.

- Клатещи се пещи: Клатещата се пещ избягва много от проблемите на тласкателните проходни пещи и дава възможност за нагряване на долната повърхност на материала. Това позволява по-кратки периоди на нагряване и по-къси дължини на пещите, а от там и по-добро управление на скоростта на нагряване, постоянна температура на изходния материал и оперативна гъвкавост. Като цяло при пещите с тласкач с горно и долно запалване обаче голяма част от пещта е под нивото на стана и това може да бъде пречка при някои приложения

13.1.2. Теплообмен при пещите

Основните начини, при които топлината се пренася към стоманата в нагревателната пещ са показани на Фигура 13.2. С прости думи, топлината се пренася към материала чрез [8]:

- Излъчване от пламъка, продуктите на горене, стените и покрива на пещта;
- Конвекция поради движението на горещите газове над повърхността на материала.



Фиг. 13.2. Теплообмен при пещите.

При високите температури, използвани в нагревателните пещи, преобладаващият начин на пренос на топлина е стенната радиация. Преносът на топлина чрез газова радиация е в зависимост от състава на газа (основно въглероден двуокис и водна пара), температурата и геометрията на пещта.

13.1.3. Характеристики на енергоефективна пещ

Пещите трябва да се проектират така, че за даден интервал от време възможно най-голяма част от материала да може да се нагрява при постоянна

температура с възможно с най-малко гориво и труд. За да се постигне тази цел трябва да се вземат под внимание следните параметри.

1. Определяне на количеството топлинна енергия, която ще се предава на материала.

2. Отделяне на достатъчно топлина в пещта за нагряване на материала и покриване на всички топлинни загуби.

3. Пренасяне на наличната топлина от пещните газове към повърхността на нагрявания материал.

4. Изравняване на температурата в рамките на материала.

5. Намаляване на топлинните загуби от пещта до възможния минимум.

Нормалните топлинни загуби в пещта включват:

- Акумулиране на топлина в конструкцията на пещта;
- Загуби на топлина през ограждащите елементи;
- Пренос на топлина извън пещта чрез нагрявания материал и транспортните средства - конвейери, фиксиращи приспособления, контейнери и др.;

- Загуби от излъчване от отворите, горещите открити части и др.;

- Топлина от инфилтрацията на студен въздух в пещта, и

- Топлина от излишъка на въздух за горене.

Ефективността на една пещ (к.п.д.) е отношението между произведеното количество полезна топлина към количеството подадена (разполагаема) топлина. К.п.д. на пещта може да бъде определен по директен и индиректен метод.

Директен метод на определяне. К.п.д. на пещта може да бъде изчислен чрез измерване на количеството гориво, изразходвано за загреване на единица тегло от материала, произведен от пещта:

К.П.Д. на пещта = Топлина в материала / Топлина в консумираното гориво

Количеството топлина (Q), подадена към материала, може да бъде намерено чрез формулата:

$$Q = m \times C_p \times (t_2 - t_1)$$

където: Q - количество топлина, kJ.

m - тегло на материала, kg

C_p - специфичен топлинен капацитет, kJ /kg.K

t₂ - крайна желана температура на материала, °C

t₁ - начална температура на материала преди да влезе в пещта, °C

Индиректен метод на определяне. Подобно на метода за оценка на ефективността на котлите чрез индиректни методи, к.п.д. на пещта може също да се изчислява по индиректен метод. К.п.д. на пещта се изчислява след изваждане на загубата на топлина в димните газове, загубата в резултат на влагата в димните газове, загубата на топлина през отворите на пещта, загуба на топлина през обшивката на пещта, както и други неотчетени загуби от входа към пещта.

Параметрите, които трябва да бъдат взети предвид, за да се изчисли к.п.д. на пещта чрез използване на косвения метод, включват почасово потребление на точно гориво, произведеният материал, излишъка на въздух, температурата на

димните газове, температурата на пещта в различните зони, температурата на обшивката на пещта и температурата на въздуха, необходим за горенето. Ефективността се определя чрез изваждане на всички загуби на топлина от 100.

$$Q_d + Q_{екз} + Q_{ел} + Q_{вх.м} + Q_v + Q_r + Q_p = Q_{енд} + Q_{изх.м.} + Q_{изв.п.} + S_Q$$

В лявата страна на уравнението са описани входящите топлинни потоци, където Q_d е долната топлина на изгаряне на горивото; $Q_{екз}$ е топлината от екзотермични реакции в пещта; $Q_{ел}$ - консумираната електроенергия; $Q_{вх.м}$ - топлинната енергия, постъпваща в пещта с подлежащия на топлинна обработка материал; Q_v - топлинната енергия, съдържаща се в подавания в пещта въздух; Q_r - топлинната енергия с постъпващото гориво; Q_p - топлинната енергия на парата, в случай, че промишлената пещ е оборудвана с мазутна горелка.

В дясната страна на равенството са изходящите топлинни потоци - $Q_{енд}$ е топлинната енергия за ендотермичните реакции в пещта; с $Q_{изх.м.}$ е означен топлинният поток, който напуска пещта с обработения материал; $Q_{изв.п.}$ - топлината, която е оползотворена за вторични цели извън пещта, а с S_Q са означени загубите на топлина:

$$S_Q = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

където: с Q_2 е означена загубата на топлина с изходящите от пещта газове; Q_3 и Q_4 са съответно загубите на топлинна енергия, дължаща се на химично и механично недоизгаряне; Q_5 са топлинните загуби вследствие топлообмена през стените на промишлената пещ; Q_6 са топлинните загуби от отпадъчните продукти, изхвърляни от съоръжението.

КПД на промишлена пещ се пресмята по зависимостта:

$$\eta = (Q_1/Q_p) \cdot 100\%$$

където: Q_1 е оползотворената топлинна енергия, а Q_p е разполагаемата топлина в пещта за 1 кг гориво.

Оползотворената топлинна енергия Q_1 може да се представи чрез израза:

$$Q_1 = Q_{изх.м.} - Q_{вх.м.} + Q_{изв.п.} - Q_{екз} + Q_{енд}$$

Между характеристиките Q_1 и Q_p съществува следната зависимост:

$$Q_p = Q_1 + S_Q$$

Коефициентът на полезно действие на една промишлена пещ би могъл да се представи чрез израза:

$$\eta = (1 - S_Q/Q_p) \cdot 100\%$$

За изчисляване на енергийния баланс на пещи, работещи на течно гориво (например нагревателни пещи) трябва да се направят следните измервания:

1. Тегло на материала/ Брой на нагретите заготовки;
2. Температура на стените, на покрива на пещите и др.
3. Температура на димните газове;
4. Анализ на димните газове;
5. Разход на течно гориво.

За измерване на посочените по-горе параметри са необходими прибори като инфрачервен термометър, расходомер за гориво, повърхностна термодвойка и други средства за измерване. Трябва да бъдат посочени и ръководства с данни за справка като специфична топлина, влажност и др.

Пример: При топенето на един тон стомана при температура на околната среда 20°C:

- Специфичната топлина на стоманата = 0.186 Wh/kg/°C.
- Латентната топлина за топене на стомана = 40 Wh/kg/°C.
- Точката на топене на стоманата = 1 600°C.
- Теоретична обща топлина = Топлосъдържание + Латентна топлина
- Топлосъдържание = 1 000 kg x 0.186 Wh/kg°C x (1 600 - 20)°C = 294 kWh/t
- Латентна топлина = 40 Wh/kg x 1 000 kg = 40 kWh/t
- Обща топлина = 294 + 40 = 334 kWh/t
- Действително използваната енергия за топенето на 1 600°C е 700 kWh

$$\text{К.П.Д. на пещта} = \frac{334 \text{ kWh}}{700 \text{ kWh}} \times 100 = 48\%$$

13.1.4. Съвети за подобряване на енергийната ефективност в пещите

- Създаване на информационна система за управление на товара, ефективността и специфичния разход на гориво.
- Предотвратяване проникването на студен въздух чрез използване на врати и въздушни завеси.
- Контролиране на съотношението O₂/CO₂/CO и контрол на излишъка на въздух.
- Подобряване на дизайна на горелките, контрол на горивния процес.
- Камерата на пещта трябва да бъде под леко положително налягане.
- Използване на изолация от керамични фибърни влакна в случай на периодични процеси.
- Пещта да се натоварва в съответствие с нейния капацитет.
- Утилизиране на отпадната топлина.
- Проучване цикъла на работа на пещта и избягване на работа на удължено време и излишното нагриване.
- Инсталиране на контролери на температурата.
- Пламъкът не трябва да се докосва до материала.
- Ремонтна работна повредената изолация.
- Използване на инфрачервен пирометър за проверка на горещи зони по стените.
- Проверка дали всички повърхности са изолирани с алуминиева облицовка.
- Изолиране на всички клапани, фланци и съединители.
- Утилизация на максимална топлина от изходящите газове.
- Редовно почистване на нагревните повърхности.

13.2. Технологии за сушене

Сушенето е процес на отделяне на влагата (някаква течност, напр. вода или органични разтворители) от дадена суровина чрез изпаряване. За да се

изпари влагата е необходимо подаването на топлина. Нагреването обикновено е индиректно.

Топлината, необходима за сушене, може да бъде доставена както от конвенционални източници на топлина, така и от други като диелектрично нагряване (включително микровълнова и радиочестотна технология), електромагнитна индукция, инфрачервено нагряване и комбинация от тези методи.

Пряко нагряване. При директното нагряване се използва смес от горещи димни газове, рециклиран въздух и свеж въздух. Това елиминира използването на топлообменни апарати, както е при индиректното сушене, като конвенционалните топлинни загуби при този метод намаляват до 10%, докато при системите с нагряване с пара те са от 40 до 50%. Използването на горещи отработени газове от газова турбина при когенерация допълнително подобрява ефективността.

Тъй като природният газ е най-често използваното гориво, продуктите не са замърсени от изходящите газове и директните методи могат да се използват включително и за изсушаване на хранителни продукти.

Директното нагряване може да бъде икономически ефективно. То може да бъде включено в етапа на проектиране или да бъде модернизирано съществуващото сушилно оборудване. Ползите включват по-прецизно регулиране на температурата, подобро поддържане на еднакво отопление в различните зони, повишена пропускателна способност (т.е. намаляване на използването на енергия за единица продукция) и възможност за интегрирането му в съществуващата система за контрол.

Електрическо нагряване. Целта на този метод е директно предаване на топлина от електросъпротивителни нагреватели към влажния материал, без да е необходимо да се подгръва въздух за сушене. КПД е 100 % в точката на използване. При използване на радиочестотно нагряване, КПД на генериране на енергията е 50%, а при микровълновото нагряване – 60%. Индукционното нагряване може да се използва само при електропроводен материал за сушене.

Предимствата на електрическото нагряване включват прецизно управление на температурата на пещта, подобреното качество на продукта, кратки времена на пуск, проста поддръжка на пещите и намаляване на въздействието върху околната среда от цялостния процес.

Скоростта на сушене също се подобрява значително (например с най-малко 3% в сравнение с конвенционален процес, какъвто сушенето на керамика). Този факт води до кратки срокове за откупуване от една до три години. Икономии на енергия, получени от инсталирането на една електрическа сушилна, зависят от енергийната ефективност на сушилната, която се заменя.

13.3. Подобряване на енергийна ефективност

За подобряване на ефективността на сушилните и пещите може да се използват допълнителни процеси:

- въвеждане на допълнителни процеси преди сушенето;
- механично обезводняване, например с помощта на преси;

- десатурация – чрез гравитационно източване, центрофугиране или използване на „въздушен нож“ за отстраняване на повърхностната влага;
- топлоизолация на неизолираните или лошо изолираните части от системата (например горелки, канални системи, топлообменници).

Използването на прегрята пара като топлоносител при сушенето елиминира използването на въздух и позволява изпарената вода да се използва като източник на топлина за други процеси.

В сравнение с конвенционално сушилно устройство използването на прегрята пара намалява с до 20% използваната енергия. С прилагането на методи за повторно използване (утилизация) на топлината икономията на енергия може да достигне 80%.

В една сушилна инсталация утилизация на топлината може да се прилага за пренасянето на отработена топлина към подавания пресен студен въздух (например чрез топлообменник или чрез смесване на част от рециклираните отработили газове с пресен входящ въздух), към продукта или към друг технологичен поток или операция.

Всяка система за утилизация на топлина трябва да бъде правилно избрана за конкретното приложение и за използваното сушилно устройство. Такива системи могат да включват топлинни помпи (с електрозадвижване или с газов двигател), системи за повторно използване на отработил въздух, топлинни тръби, топлообменници с пряк контакт, „газ-газ“ пластинчати и тръбни рекуператори, рекуперативни топлообменници със серпентини за циркулация с междинни топлоносители и регенеративни топлообменници. Потърсете съветите на знаещ и безпристрастен консултант за най-доброто решение на вашия проблем, защото от продавача не може да се получи безпристрастен съвет.

Направете икономическа оценка на системата за оползотворяване на топлината за дадена сушилна, като следвате тези стъпки:

- Определете температурата и влажността на входящия/изходящ въздух
- Оценете количеството на възстановимата топлина чрез интеграция на процесите.
- От офертите на изпълнителя получите общата цена за киловатчас регенерирана топлина, за да изчислите общата стойност на проекта.
- По местните цени определете стойността на всеки спестен киловатчас енергия.
- Получете простия период на откупуване на инсталацията.

Ротационните сушилни са идеални за керамичната индустрия и се използват за сушене на керамични стенни плочки, керамични подови плочки, гранитогрес, декоративни плочки и др. Те са перфектна симбиоза от висока икономическа ефективност и отлично изпълнение и поради това са ключов компонент при модерното производство на керамични изделия.

Ротационните сушилни са с рентабилни цени и могат да бъдат персонализирани според изискванията на клиента. Те са общоизвестни с тяхната

устойчивост, високи експлоатационни характеристики, издръжливост и висока якост на опън. Специална камерна сушилня се използва за производството на екструдирани плочки, декоративни фигури и чинии. Скоростна сушилня се използва при линиите за глазиране, така както и при третата линия за изпичане. От друга страна скоростната сушилня се използва и при изработването на мозайка. Би било разумно да изберете ротационни сушилни, които са проектирани с голяма точност, както и разработени така, че да отговарят на различни промишлени изисквания. Ротационните сушилни се комбинират с надеждни машини, използвани в керамичната промишленост и изискващи ниски разходи за поддръжка.

Ротационните пещи често са използвани за изпичане на малки, средни и големи обеми от керамика, санитарен фаянс, кухненски съдове и техническа керамика. Предимствата на ротационните пещи са възможно най-ниската консумация на гориво и гъвкавите системи за контрол, което спомага за бързото манипулиране с различни видове изделия. Ротационните пещи могат да бъдат използвани за разкрояване на парчета, гранитогрес, каменни изделия, екструдирани керемиди и фаянсови плочки. Производителите на пещи предлагат ротационна пещ, базирана на модерна италианска технология, която се използва при производството на керамични плочки и керамични продукти в световен мащаб. Еднослойна ротационна пещ и ротационна сушилня също се предлагат от доставчиците на ротационни пещи в зависимост от изискванията на клиента.

Ротационна пещ с температура от 1200⁰C може да се използва в производството на керамични стенни плочки и керамични подови плочки с капацитет до 5000 м². Тя се използва и за двойно изпичане, единично изпичане и изпичане за декорация при производството на керамични плочки. Ротационната пещ предлага максимална мощност, икономия на енергия, бързо изпичане на всички видове керамични продукти и спестяване на разходи за монтаж и производство.

Температурите на пещта и в пещната камера са обикновено по-високи от температурите в комините на котлите. По-високите температури предоставят няколко възможности за регенериране и повторно използване на топлината. Типът на внедрената система за регенериране на топлината зависи от това как ще бъде използвана регенерираната топлина. Сред методите за регенериране на топлината на пещта са топлообменниците (рекуператорите). Те пренасят топлината от горещите димни газове към въздуха, необходим за горене. Регенеративните въздухонагреватели пък използват два отделни комплекта от огнеупорни материали (тухли), които последователно се нагряват от горещите димни газове и се охлаждат от входящия въздух за горене. В дървопреработвателните предприятия, които използват горелки за биомаса, топлината може да се използва за предварително изсушаване на мокрите кори преди да бъдат изгорени.

Друг метод за подобряване на енергийната ефективност, особено при производството на цимент, вар, алуминий и процесите на калциниране е чрез двойни топлинни горелки. Те могат да допълват временен недостиг от основно

гориво - въглероден оксид (CO) - с природен газ; следователно инсталациите могат да избягнат енергийни загуби в следствие на спирания на пещите, когато захранването с CO е ниско, което наскоро е демонстрирано от един голям канадски оператор.

Енергийният потенциал на отработилите газове като CO може да бъде правилно използван в различни индустрии (метални руди, нефтопродукти, рециклиране) чрез регенериране на топлина от факлите. Тази топлина може да се използва за предварително нагряване на въздуха за горене на котлите или дори за работата на микро-турбинен генератор.

13.4. Възможности за енергиен мениджмънт

Тези възможности за икономия на енергия са в допълнение към представените по-горе [10]:

- Обръщането на необходимото внимание на оборудването за сушене и на гореизложените процеси може да спести 10% от общия енергиен товар.
- Прилагане на програма за редовна инспекция и превантивна поддръжка.
- Извършване на подходящи настройки на горелките и контрол на продуктите на горенето на димните газове и кислорода.
- Поддържане на чисти топлообменни повърхности.
- Планиране на производството така, че всяка пещ или сушилня да работи близо до максималната си мощност.
- Поддържане на изолацията на оборудването.
- Подобряване или въвеждане на система за контрол и управление.
- Използване на топъл въздух за горене от други процеси или от вътрешността на сградата.
- Подмяна на изкривени, повредени или износени врати и капаци на сушилнята.
- Инсталиране на топлообменник въздух/течност за утилизация на топлината от топлинния процес, например за затопляне на подхранваща котела вода (големите системи може да позволят използването на котел-рекуператор).
- Инсталиране на скрубър за регенериране на топлината от премахване на нежеланите прахообразни частици и газове (отделените и рециклирани прахови частици могат да помогнат за намаляване на разходите за суровини).
- Проучване на други възможности за сушене (т.е. модерни технологии) за подмяна на остарялите пещи за изсушаване/вулканизация.
- Проучване на възможностите за използване на допълнителни или алтернативни горива за пещи (например стари гуми).
- Интегриране и автоматизиране на оперативното управление за оптимална енергийна ефективност.
- Промяна на метода на подаване на изсушавания материал в сушилнята, за да се улесни бързото подаване на топлина към продукта (например, замяна на вагоните с отворени топлоустойчива стелажи/платформи и т.н.).

14. Използване на отпадъчна топлина

Отпадъчна топлина е излишната топлина, отделена по време на производствения процес при температура, по-висока от температурата на въздуха в предприятието. Тъй като често отпадъчната топлина е налична при температура, по-нисък от планираната, тя трябва да се повиши чрез използване на подходящо оборудване. Отпадъчната топлина, в най-общия смисъл, е енергията, свързана с отпадъчните потоци въздух, изгорели газове и/или течности, които напускат границите на едно предприятие или сграда и попадат в околната среда. Подразбира се, че тези потоци в крайна сметка се смесват с атмосферния въздух или подземните води и енергията им става неизползваема. Поглъщането (абсорбцията) на загубите на енергия от околната среда често се нарича термично замърсяване. В по-ограничен смисъл отпадъчната топлина е енергията, която се отделя в процесите при достатъчно висока температура над тази на околната среда, за да е икономически изгодно повторно използване на някаква част от нея за полезни цели.

14.1. Технологии за рекулперация на топлина

Един ефективен начин за намаляване на енергийните разходи на ОВК системите е да се приложи технология за оползотворяване на отпадъчната топлина. Най-големият проблем с такива системи е поддръжката им. Често в рамките на предприятието основните усилия отиват в полза на производството и в ущърб на всичко останало, като това включва и поддръжката на системи за топлинна рекулперация. Една зле поддържана система за регенериране на топлина може да унищожи енергийните спестявания и да влоши качеството на въздуха в затворените помещения.

Основната причина за използване на отпадъчната топлина е икономическа. Цялото количество такава топлина, успешно е рекулперирана, директно замества закупена отвън енергия и, следователно, намалява потреблението и цената на тази енергия.

Другата потенциална полза от замяната с отпадъчна топлина е, че това води до по-малки изисквания за капацитета на енергийното оборудване на предприятието. По този начин, чрез използване на топлина от оползотворяване на отпадъците, може да се намалят капиталовите разходи в нови инсталации. Един добър пример е, когато отпадъчната топлина от изходящия въздух на вентилацията се използва за подгриване на външния входящ въздух в сградата. Оползотворяването на отпадъчната топлина намалява енергийните нужди за отопление. Това позволява намаляване на капацитета на пещите или котли, използвани за отопление на завода. Първоначалната цена на отоплителната техника ще бъде по-малко и режийни разходи ще бъдат намалени. Икономии от капиталовите разходи за първични енергоснабдителни устройства могат да бъдат достатъчно големи, особено ако първичният енергоизточник е изчерпал ресурса си и подлежи на замяна, че да компенсират напълно разходите на системата за рекулперация на топлината.

Трета полза може да се получи в някои много специални случаи. Например когато един високотемпературен инсинератор за опасни отпадъци се инсталира с цел разлагане на твърди, течни, газообразни или летливи замърсители, цената на операцията може да бъде значително намалена чрез използване на отпадната топлина от изгаряне на отработените газове.

В заключение може да се направи извода, при всеки случай на използване на отпадъчна топлина се получава безвъзмездна полза от намаляване на топлинното замърсяване на околната среда със сума, равна точно на възстановената енергия, без пряк разход за фирмата, която я оползотворява.

Оползотворяването на отпадъчна топлина включва повторно използване на топлина от сградата и от отработените газове на технологичните процеси, за да се загрее или охлади въздуха (съответно през зимата и през лятото). И двете топлини - латентната топлина и скритата топлина на изпарение, могат да бъдат използвана повторно и, ако атмосферата в помещението е овлажнена, може да осигурят съществени икономии.

Следните условия водят до най-висока възвръщаемост на системите за рекуперация на топлината [10]:

- голям обем, голяма температура разлика при отработените газове, особено ако са локализирани;
- високи изисквания за влажност на закрито;
- генериране на ниска вътрешна топлина в завода;
- наличие на изградена въздухопреносна система.

Системата за рекуперация на топлина трябва да се разгледа и ако поне едно от тези условия е изпълнено, тя може да бъде икономична. Обикновено може да бъде постигнато възстановяване на 65% от топлината от изгорелите газове с разумен срок на възвръщаемост. Последните разработки в тази област позволяват оползотворяване и на топлина от потоци с дори малки температурни градиенти. Сред основните видове оборудване за оползотворяване на топлината са:

- регенеративни теплообменници (с топлинно колело);
- теплообменници с топлинни тръби;
- стационарен теплообменник въздух-въздух;
- теплообменник с байпас от гликол;
- системи, базирани на топлинни помпи.

Всеки тип има предимства и недостатъци. Най-подходящият тип трябва да бъде избран след задълбочен анализ на предложеното приложение.

Видовете технологии, които обикновено се използват за регенериране на отпадната топлина и я правят удобна за повторно използване, са следните:

- Директното използване и теплообменниците оползотворяват топлината „такава, каквато е”.
- Термопомпите и системите за парова рекомпресия подобряват използването на топлината така, че тя може да изпълнява по-полезна работа, отколкото може да се постигне при настоящата температурата.

- Има многостепенни операции, като изпаряване за различни цели, запарване на помпата и комбинации от вече споменатите подходи.

14.1.1. Пряко използване

Прякото (директно) използване включва използването на потока отпадъчна топлина във вида, в който тя съществува. Примерите за директна употреба включват използване на димните газове на котела за сушене и използване на топлия отработен въздух от спомагателното помещение за отопление на прилежащото пространство. Методите за директно използване изискват предпазни мерки и контрол, за да се гарантира, че непречистения отпадъчен поток не причинява вредно въздействие, като например замърсяване на крайния продукт или застрашаване здравето и безопасността.

14.1.2. Теплообменници

Теплообменниците и термopомпите са с най-широк обхват от приложения, независимо от вида на промишлеността. Теплообменниците пренасят топлина от един поток в друг, без да се смесват потоците.

Теплообменниците принадлежат към една от следните категории, в зависимост от употребата:

- Газ - газ (пластинчати, регенеративни, концентрични тръбни, метален радиационен рекуператор, Z - камера, байпасни системи, с топлинни тръби, топлинна рекуперация на пещни горелки);
- Газ - течност, течност - газ (ребриста тръба, спирала, котли - утилизатори);
- Течност - течност (пластинчат, спирала, корпусен и кожухотръбен);
- Кипящ слой (за силно замърсена среда, в заводи за целулоза и хартия)

Наскоро пуснатите компактни теплообменници са все още в етап на активна разработка, но са посрещани с ентузиазъм. Техните обеми са наполовина по-малки от онези на сравнимите кожухотръбни теплообменници, те са по-функционални и позволяват пренасяне на повече енергия между потоците (понякога дори между няколко потока). Компактните теплообменници предлагат също възможности за съчетаване на функции с работата на други устройства, с което се променя радикално технологичния проект.

Възможността за комбиниране на компактните теплообменници с реактори и сепаратори предоставя допълнителни възможности за енергийна ефективност в горивните елементи, машините с цикъл на абсорбция, газовите турбини и реформери. Компактният теплообменник има висок коефициент на топлопредаване при малки обеми, обикновено през оребрени повърхности. Той предлага по-строг контрол на процеса. Други методи, например ротация, са довели до разработването на компактни топлинни помпи, сепаратори и реактори, което позволява по-бърза обработка - всичко това допринася технологичните операции да са енергийно по-ефективни.

14.1.3. Термопомпи

Термопомпите правят отпадъчния енергиен поток по-полезен, като повишават неговата температура (механичнатаа охладителна система добавя механична енергия към потока от регенерирана топлина). Термопомпата е най-полезна там, където топлината от даден нискотемпературен отпадъчен енергиен поток може да бъде икономично подобрена. Термопомпите са едни от най-слабо разбираемите категории оборудване за енергийна ефективност. Това е една от причините този полезен метод за повторно използване на отпадната топлина (и на разсейване на топлината!) да не е толкова широко разпространен, колкото заслужава да бъде. Вярно е, че термопомпените инсталации са сложни и скъпи, изискващи подробна техническо-икономическа обосновка. Резултатите при използване на топлинната помпа обаче могат да бъдат впечатляващи. Термопомпите често се прилагат в комбинация с други средства за икономия на енергия, за да се подобри още повече общия к.п.д.

14.1.4. Парова рекомпресия

Системите за парова рекомпресия подобряват топлосъдържанието на нискотемпературните пари по един от двата метода:

- Механична рекомпресия на пара - центробежни компресори или компресори от обемен тип се използват за повишаване на налягането (а по този начин и температурата) на потока пара.
- Термична рекомпресия на пари - температурата на потока пара се повишава чрез инжектирането ѝ с гореща пара

14.1.5. Многоетапни операции

Многоетапните операции извличат по-голяма енергийна ефективност чрез каскадна утилизация на енергията при приложения, които включват отопление или охлаждане. Примери за това са захарната, дестилационната, нефтохимическата и хранително-вкусовата промишленост. При изпаряване използването на енергия може да бъде редуцирано с две трети, ако изпарението в еднокорпусен изпарителен апарат се замени с изпарение в трикорпусен изпарителен апарат.

14.2. Възможности на енергийния мениджмънт

Оползотворяването на отпадната топлина (или излишък на топлина) е процесът на възстановяване и повторно използване на отведената топлина, за да замени закупената енергия. При процесите и системите на околната среда възникват възможности за рекуперане на топлината на почти всеки агрегат. Възстановяването и повторното използване на отпадъчната топлина могат да намалят енергийните разходи и да подобрят рентабилността на всяка операция.

Използваемата енергия може да се получи от:

- горещи димни газове;
- гореща или студена вода, оттичаща в канализацията;
- отработен въздух;
- горещ или студен продукт или отпадъчен продукт;

- вода за охлаждане или хидравлично масло;
- топлинна енергия на земен източник;
- топлина, събрана от слънчеви панели;
- топлина на прегряване и топлина на кондензация, отведена от хладилното оборудване;
- други източници.

При планиране на рекулперацията на отпадна топлина имайте предвид следните съображения:

- Сравнете предлагането и търсенето на топлинна енергия.
- Определете колко лесно източникът на отпадъчна топлина може да бъде достъпен.
- Оценете разстоянието между източника и търсенето.
- Оценете формата, качеството и състоянието на източника на отпадната топлина.
- Определете дали има някакви последици за качеството на крайния продукт от проекта за оползотворяване на отпадъчната топлина.
- Определете температурния градиент и степента на необходимото подобряване на топлината.
- Определете всички регулаторни ограничения относно възможността за замърсяване на продукта, здравето и безопасността.
- Извършете сравнения за пригодност (чрез периода на изплащане и оценки чрез анюитетния метод) на избраните варианти за оползотворяване на топлината.

Ето някои примери за подобряване на к.п.д. и спестяване на енергия чрез модифициране или преобразуване на утвърдена неефективна ОВК система:

- Използването на задвижвания с регулируема скорост за вентилатори и помпи ще се подобри оперативната ефективност на ОВК системата и ще намали разходите.
- В области, където топлинните загуби са високи, като в приемно-распределителните отделения, складовете и участъците за ремонт на превозните средства, заменянето на конвенционалните системи за отопление с конвекторни газови инфрачервени нагреватели ще спести енергия. Със системата за лъчисто отопление температурите могат да се поддържат много по-ниски, без да се намалява удобствата на обитателите.
- Сменете електросъпротивителните нагреватели, най-скъпата форма на отопление, с алтернативен източник като например пряко или косвено нагряване с газ или (където е възможно) котли.
- Уловете отпадната топлина от чистите отпадъчни потоци, които обикновено се изпускат в атмосферата или изтичат.
- Оползотворете отпадните производствени води като източник на топлина за топлинна помпа.

- Оползотворете топлината на отпадните води на завода, пречиствани в пречиствателна станция за отпадни води (където е приложимо) като източник на топлина за топлинна помпа.
 - Повторно използвайте отработените газове за сушене.
 - Инсталирайте подобро автоматично управление.
 - Помислете за повторно използване на топлината от охлаждането на циркулиращото хидравлично масло, (например при формовъчни машини); Това също намалява електрическото натоварване на производствения процес.
 - Инсталирайте оборудване за регенериране на отпадъчната топлина (например чрез смяна на циркулационния контур на охладителната кула с кожухотръбен топлообменник).
 - Помислете за усъвършенстване и подмяна на остарялото оборудване за утилизация на отпадъчната топлина.
 - Помислете за комбиниране на рекуператор на топлината на димните газове с термомпомпа и неутрализиране на алкалните отпадни води чрез димните газове.
 - В един голям компютърен център помислете за улавяне на топлината, генерирана например от използването на студен и топъл топлоакумулатор или с помощта на турбоохладилник с двоен пакет тръби за възстановяване на топлината, генерирана чрез охлаждане.
 - Помислете за преобразуване на високата температура на димните газове (напр. от металургичните пещи) в прегрята пара за генерирането на пара от парна турбина.

15. Комбинирано производство на топлинна и електроенергия (когенерация)

Комбинираното производство на топлинна и електроенергия, известно също като **когенерация**, е едновременното производство на електрическа и топлинна енергия от един източник на гориво, например природен газ, биомаса, биогаз, въглища, отпадъчна топлина или течено гориво. Когенерацията е много ефикасен начин да се трансформира химически свързаната в горивото енергия (първична енергия) в използвана форма. В една когенерационна топлоелектроцентраля топлината и електричеството се произвеждат едновременно при повече от 85% к.п.д., докато в конвенционалната кондензационна електроцентраля се произвежда само електричество и 45 - 70% от енергийното съдържание в горивото не се използва.

Когенерационните системи могат да бъдат икономични в ситуации, при които се изисква топлина при подходяща температура и съществува търсене на електроенергия. Енергийната ефективност на когенерационните системи и техните ползи за околната среда като намаляване на емисиите на CO₂ и NO_x са причините за интереса към тази бързо развиваща се технология.

Горивото в когенерационната централа може да бъде изкопаемо гориво като природен газ, въглища и нефт, или горива от възобновяеми източници като

биогаз, дървесен чипс и пелети, както и битови и промишлени отпадъци. При промишлено приложение горивото за предпочитане трябва да е такова, което се получава от специфичния производствен процес, например корите на дърветата в целулозните заводи.

15.1. Когенерационна технология

15.1.1. Видове когенерационни инсталации

Когенерацията не е една отделна технология, а интегрирана енергийна система, която може да бъде изменяна в зависимост от нуждите на крайния потребител на енергия. Първото поколение централи за комбинирано производство на електроенергия и топлоенергия съществуват в продължение на десетилетия - през 1996 година в Дания 48% от нуждите от електроенергия и 38% от търсенето на топлинна енергия са покриват от когенерационни централи. Преструктурирането на производството на енергия обаче улеснява индустрията да разглежда когенерационни инсталации с опция за продажба на излишното електричество към мрежата на електроразпределението.

В контраст с традиционното централизирано производство на електроенергия от местна компания, когенерационните системи са разположени върху или близо до съоръженията на потребителя и задоволяват всички или част от неговите потребности. При генерирането на конвенционална енергия се преобразува средно само около една трета от потенциалната енергия на горивото в електричество, изхвърляйки значителна топлина по време на процеса. Когенерационната система улавя тази изпускана топлина, като постига пълна ефективност на цялата система от 75% до 85% и я превръща в използвана топлинна енергия за топла вода, стерилизация, отопление, охлаждане, дори и за изсушаване. Тя прави това по-ефективно, икономично, надеждно и с по-малко вреда за околната среда, отколкото централизираното производство на електрическа енергия.

Когенерационният агрегат обикновено се състои от един първичен двигател за производство на електричество и генератор за оползотворяване на топлината на парата.

Това ще ви помогне при избора на типа на първичения двигател за системата и при избора на подходящ размер. Най-голяма енергийна ефективност се получава, когато устройството работи при пълно натоварване. Следователно трябва да се избягват ситуации на работа при частичен товар или дълги спирания, които могат да възникнат в резултат от използването на извънгабаритни агрегати.

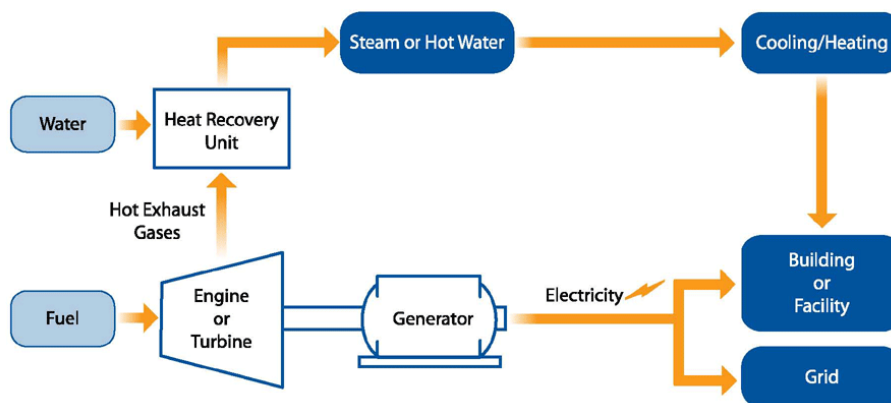
Когенерационните системи се развиват бързо и производителите предлагат агрегати с широк диапазон на мощност - от десетки мегавата до 1 киловат. Много усилия са положени за развитието на малки когенерационни технологии. Те се основават главно на КПД на цикъла на Ренкин или на паротурбинния цикъл, на цикъла на бутален двигател или цикъла на газовата турбина.

Когенерацията осигурява:

- Генериране на електрическа и/или механична енергия на територията на нейното потребление.
- Използване на отпадъчната топлина за отопление, охлаждане, изсушаване, или технологични приложения.
- Безпроблемно интегриране на системи с разнообразие от технологии, топлинни приложения и видове горива в съществуваща сградна инфраструктура.

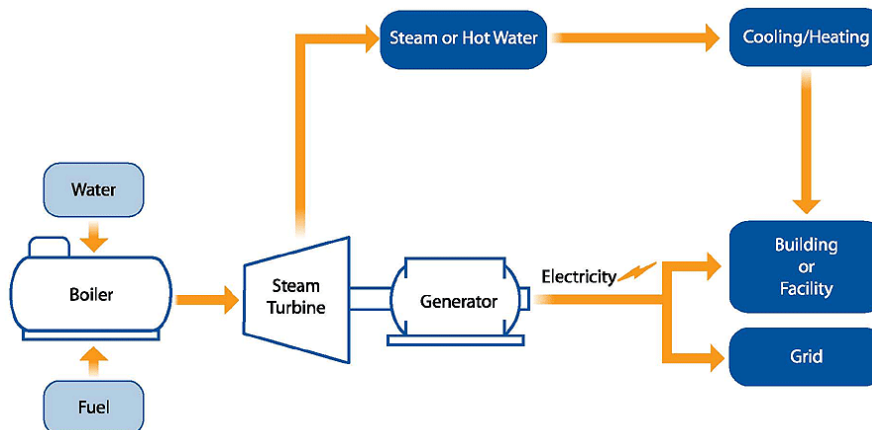
Двете най-общи когенерационни системни конфигурации са:

- Газова турбина или двигател с агрегат за оползотворяване на топлината
- Парен котел с парна турбина



Фиг. 15.1. Газова турбина или двигател с агрегат за оползотворяване на топлината.

Газовата турбина или буталните когенерационни системи генерират електроенергия чрез изгаряне на гориво (природен газ или биогаз) за генериране на електричество, а след това използват агрегат за повторно използване на топлинната енергия чрез улавяне на топлината на потока отработени газове на горивната система. Тази топлина се превръща в полезна топлинна енергия, обикновено под формата на пара или топла вода. Газовите турбини двигатели са идеално пригодени за големи промишлени или търговски когенерационни приложения, изискващи достатъчно количество електрическа и топлинна енергия.



Фиг. 15.2. Парен котел с парна турбина.

Парните турбини обикновено генерират електроенергия като вторичен продукт на генерирането на топлина (пара), за разлика от газовите турбини и буталните когенерационни системи, където топлината е вторичен продукт от производството на електроенергия. Когенерационните системи, базирани на парна турбина, обикновено се използват в промишлени процеси, където твърдите горива (биомаса или въглища) или отпадъчните продукти са лесно достъпни за захранване с гориво на котелния агрегат.

Газовите и парни турбини са по-подходящи за отрасли, където съществува стабилно и голямото търсене на пара под високо налягане, например в дървообработващия и хартиения отрасли, както и при нефтохимическите съоръжения. Газовите двигатели се използват предимно при инсталации с мощност < 1 - 3 MW в индустрии, при които има търсене на пара с ниско налягане и/или топла вода като например в хранително-вкусовата промишленост. Парни турбини се използват на местата, където има излишък на пара.

Таблица 15.1. Сравнение на дребномащабни когенератори [10].

К.п.д., %				
Технология	NO _x , ppm	Топлина	Ел. енергия	Общо
1 MW турбина - природен газ	< 20	60 - 65	20 - 25	85 – 90
1 MW бутална турбина - природен газ	108	50	35 - 40	85 – 90
Нова газова турбина с комбиниран цикъл (без пренос и разпределение)	n/a	n/a	55	55
Енергосистема (включително пренос и разпределение)	n/a	n/a	30	30
Нов промишлен газов котел	24	85	n/a	85
Среден инсталиран промишлен котел	120	65	7 - 20	75 – 85
Парна турбина с противоналягане	n/a	65	7 - 20	75 - 85
Горивни елементи	0.05	-	50	-

Източникът на енергия е главно природен газ, въпреки че при някои конфигурации могат да бъдат използвани отпадъци, биомаса, биогаз, дизел, бензин, въглища и течено гориво. Коефициентът на производство „електроенергия към топлина” се подобрява от по-ранна стойност от 0.5 до текущата 0.6 - 0.7 и продължава да се покачва към 1.0 при общ к.п.д. 80%. Простият срок на откупуване за когенерационните инсталации може да варира от 1.5 до 10 години, при 4.5 години като средна стойност.

Подобренията в автоматичния мониторинг и контрол позволяват на повечето когенерационни системи да работят без какъвто и да е постоянен персонал в централата, един човек може да се грижи за няколко агрегата.

При газовите микротурбини (мощност от 500 kW или по-малко) и такива с горивни клетки са характерни нови разработки. Техният компактен размер дава

възможност за елиминиране на загубите при преноса и разпределението чрез разполагане на източника на енергия/топлина близо до точката на използване.

Капиталовите разходи на микротурбините в момента превъзхождат онези системи, които използват бутални двигатели като първични такива. По-високата първоначална цена на тези системи обаче се компенсира от дизайна им, който всъщност не изисква поддръжка. Общият им к.п.д. се увеличава още повече и защото турбината, компресорът и постоянният магнит са монтирани на един вал, като така се избягват механичните загуби.

Горивните клетки преобразуват химическата енергия директно в електричество. Те всъщност не замърсяват околната среда, тихи са и имат ниски изисквания за поддръжка. Промислените инсталации включват 200 kW горивни клетки от фосфорна киселина и наскоро въведения 250 kW захранващ блок с протонно-обменна мембрана. Въпреки това топлинната мощност е с относително нисък клас (80°C), очакват се бъдещи увеличения от до 150°C, което трябва да позволи по-лесно генериране на пара.

15.1.2. Когенерационни инсталации на биомаса

Използването на възобновяеми горива за производство на енергия е в подем, което може да се дължи на повишаването на цените и нестабилността на традиционните горива, както и на общото желание да се използват по-екологично чисти материали за производството на енергия. Вятърът, слънцето и биомасата се радват на силен растеж на пазара, но от тези възобновяеми енергийни източници само биомасата може да се използва за ефективно производство както на топлинна, така и на електроенергия чрез когенерационна инсталация.

Биомасата е най-икономичният източник на гориво, когато когенерационната инсталация се намира в близост до запас от биомаса. В някои случаи наличието на биомаса някъде може да подтикне търсенето на подходящ топлинен потребител за когенерационно приложение. При други обстоятелства мястото на инсталацията може да бъде избрано от необходимостта за икономия на енергия чрез търсенето на гориво от биомаса в рамките на разумен периметър от съоръжението.

Един икономически ефективен подход за снабдяване с биомаса за когенерация е да се използват алтернативни горива - отпадъчни материали от селскостопански или промишлени процеси, които са налични на или близо до когенерационната инсталация. От използването на тези алтернативни горива може да има допълнителни ползи, включително изместване на закупени изкопаеми горива, освобождаване на пространство от сметища и намаляване на таксите, свързани с изхвърлянето на отпадъци. Алтернативните горива включват:

- Биомаса като дървесина и дървесни отпадъци, стърготини и запалими селскостопански отпадъци.
- Биогаз, създаден в анаеробни (без наличието на кислород) реактори (диджестъри) от разграждането на органични вещества като утайки от отпадъчни води или отстранени селскостопански отпадъци.
- Черна луга - вторичен продукт, създаден след процес на смачкване.

15.2. Възможности на енергийния мениджмънт

Преди да се вземе решение за започване на когенерационен проект, трябва да има адекватни познания за следното:

- електрическите и топлинните профили на натоварване на обекта, като се вземат предвид и сезонните колебания;
- отношението между цената на електричеството и горивото;
- потенциалът за икономията на енергия и проекти за енергийна ефективност;
- перспективите за бъдеща необходимост от енергия на обекта;
- инвестиционните разходи и възможни финансови стимули.

За повишаване на топлинното натоварване в една отоплителна система е възможно да се използва топлината в абсорбционни охлаждащи устройства в производството. Това например може да бъде интересно при завод за производство на храни.

Помислете за инсталиране на повече от един когенерационен агрегат или добавяне на топлинен акумулатор към проекта, за да се гарантира високо ниво на използване на инсталацията и гъвкавост при поддържане на пълно натоварване за постигане на най-висока енергийна ефективност.

Подобрете приходите си от електроенергия и по този начин икономиката на съоръжението чрез добавяне към когенерацията на топлинен акумулатор (обикновено при работа 10 часа дневно). Топлинният акумулатор подобрява производството на електричество през пиковите периоди, като се съхранява топлината по отношение на бъдещо търсене.

Като цяло инвестициите в когенерационни системи са толкова печеливши, колкото по-голяма е системата, което се дължи на относително високите специфични инвестиционни разходи. Ако е планирано да се замени котелна централа, използвана за производството на топла вода и/или пара в едно производствено съоръжение, силно се препоръчва заменянето ѝ с котел с високо налягане, едновременно произвеждащ и електричество.

При предпроектно проучване, наред с другите съображения, се препоръчва да се обърне внимание на:

- Какви налягания на парата са необходими в производствените процеси? Може ли високите нива на налягане на консуматорите да се превърнат в по-ниски нива и има ли консуматори на пара, които могат да бъдат превърнати в консуматори на топла вода?
 - Ако днес системата се основава на изкопаеми горива, възможно ли е да се превърнат в биомаса и по този начин да се направи зелена тарифата за производство на електричество?
 - Възможно ли е да доставя топла вода към топлофикационната система в близост до съоръжението (централата)?
 - Ще има ли разширяване на производствения капацитет в близко бъдеще?

Някои възможни мерки за повишаване на ефективността в CHP системите:

- Изолация на тръби - всички тръби и клапани, пренасящи пара и кондензат, трябва да бъдат добре изолирани и защитени от метеорологичните условия.
- Възстановяване на кондензата – доколкото е икономически възможно, кондензатът трябва да бъде върнат от всички потребители, при които няма вероятност за замърсяване. Това ще спести топлина, добавъчна вода и химикали, използвани за пречистването на водата.
- Честотно управлявани двигатели - всички големи помпи и вентилатори трябва да бъдат с честотно управление.
- Повишена температура на подаваната вода - чрез инсталиране на нагревател с високо налягане за подаваната вода, електрическата ефективност може да бъде увеличена.
- Конвертиране на консуматорите на пара с високо парно налягане до по-ниски нива (виж по-долу).
- Осигурете редовна инспекция и превантивна поддръжка.
- Анализирайте текущата си топлинна и енергийна ситуация на търсене и перспективи; оценете икономическия потенциал на евентуална когенерационна инсталация.
- Добавете економайзер за подгръване на подаваната вода за подобряване на общата ефективност.
- Инсталирайте когенерационен агрегат.
- Направете подобрение на вашата когенерационна инсталация, където например парата се разширява в парна турбина, за създаване на допълнително електричество.
- Допълнете вашия когенератор с дневен топлинен акумулатор.
- Производство на електричество и печалба по време на високотарифни и пикови периоди на търсенето, за използване при по-нататъшно търсене.
- Помислете за алтернативни приложения на когенератора, където се използва вала на агрегата, за да задвижи друго оборудване (например хладилен компресор, ОВК компресор или въздушен компресор), вместо да се използва парен генератор.
- Обмислете използване на рекупериранията топлина чрез чилър за охлаждане вместо водна инсталация или за въздушно затопляне на въздуха за сушилни или отопление на помещения.
- Помислете за интегриране на вашата когенерационна система с термopомпа, за да се използва източник на топлина с нискотемпературен топлинен източник за система с висока ефективност.

16. Алтернативни възможности за подобряване на енергийната ефективност

Енергийните разходи могат да бъдат значително намалени, ако е възможно и икономически оправдано скъпите конвенционални енергийни източници да бъдат заменени с по-евтини. Много често този вариант е пренебрегван! Разбира се, алтернативните енергийни източници трябва да са в рамките на най-добрите налични технологии в света (т. нар. **Best Available Technologies** - BAT)!

Понятието **алтернативен източник на енергия** е относително. Причината някой източник на енергия в определен момент от време да се определя като "алтернативен" е, че той не е възприет като най-добрия в случая възможен избор. Ако първоначалният избор на енергиен източник е подходящ и изгоден за потребителите, използването на алтернативен източник на енергия би имало смисъл, само ако се промени някое от условията. Това може да бъде:

1. Настоящото (или предстоящо в обозримо бъдеще) изчерпване на този, приет като конвенционален за момента, енергоизточник.
2. Промяна в относителната цена на наличните и алтернативни източници.
3. По-добра надеждност и устойчивост на алтернативния източник.
4. Екологични или юридически съображения

Някои възприемат алтернативния източник на енергия като неизчерпаем (или възобновяем) енергиен източник! Въпреки, че термините "алтернативен източник на енергия" и "възобновяеми енергийни източници" не са синоними, ще отбележим, че някои от алтернативните енергийни източници, обсъждани в този раздел, са и възобновяеми.

Важно е да се разбира, че такива енергоизточници, които сега се възприемат като алтернативни, например слънчева и вятърна енергии, някога са били важни конвенционални енергийни източници. От друга страна природният газ, въглицата и нефта са били в определен исторически момент алтернативни източници на енергия, а сега са конвенционални!

Някои промени в условията, изброени по-горе, главно в цените и надеждността, ни карат да се преориентираме от използването на слънчева и вятърна енергия към природен газ, въглища и нефт, и обратно – в някои ситуации обстоятелствата ни карат да се обръща сериозно внимание на слънцето и вятъра.

Строго погледнато, няма непреодолими технически трудности и ограничения при използването на алтернативните източници на енергия, които ще разгледаме. Слънчевата енергия може да се събира при всякакво разумно ниво на температурата, да се съхранява и използва по най-различни начини. Вятърните генератори за преобразуване на енергия функционират и сега, както е било в продължение на много години. Различни по вид и форма горива, получавани от битови и други отпадъци, също са били използвани отдавна. Важни за този, който трябва да управлява енергийните системи, са икономическите фактори, надеждността на алтернативните енергоизточници, а в някои случаи и непарични ползи, например връзките с обществеността и общественото мнение.

16.1. Слънчева енергия

"Слънчевите стени" (стени на Тромб) и подобни съвременни устройства използват слънчева енергия за затопляне на външния въздух през зимата и са с разумни срокове на откупуване. Те улавят слънчевата енергия, осигуряват допълнителна изолация на сградата и осигуряват естествена конвекция на въздуха в затворени помещения. Възможен е срок на откупуване до една година.

Слънчевата енергия достига до външния край на атмосферата на Земята в количество около 1353 W/m^2 . Тази стойност е известна като "слънчева константа". Част от тази радиация се отразява обратно в Космоса, част се абсорбира от атмосферата и повторно се излъчва, а част се разсейва от атмосферните частици. В резултат на това само около две трети от енергията на слънцето достига до повърхността на Земята.

Най-важният фактор, определящ използването на слънчева топлинна инсталация, е нейната способност максимално да използва слънчевата радиация, когато тя е на разположение. Например слънчеви системи за отопление не могат да използват слънчевата енергия през лятото. В промишлените системи пък енергийните нужди рядко корелират с моментното наличие на слънчева енергия. Понякога енергията може да се съхранява, докато е необходимо, но в повечето случаи има налична слънчева енергия, която няма да бъде използвана. Поради тази причина типа на слънчевата система се избира най-вече по икономически съображения. Перални, автомивка, мотели и ресторанти например се нуждаят от големи количества топла вода почти ежедневно през годината. Една слънчева система за затопляне на водата изглежда естествено решение в такива случаи. От друга страна слънчева система, която доставя топлинна енергия само през зимата за отопление на помещения, може често да бъде лоша икономическа инвестиция.

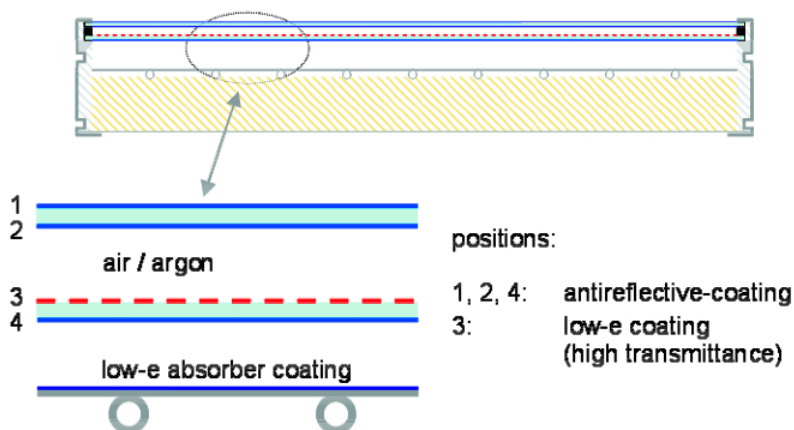
Количеството слънчева енергия, улавяно от системата, зависи и от това дали колекторите следят слънцето, или са фиксирани. При фиксирани колектори важен е наклонът към хоризонта и ориентацията на колекторите.

Частта от падащата върху колектора слънчева светлина, която се използва за полезни цели, определя **ефективността на колектора** (неговия к.п.д.).

Ефективността зависи от няколко фактора, които могат да се променят в зависимост от дизайна на абсорбера и от изолацията на гърба и страните.

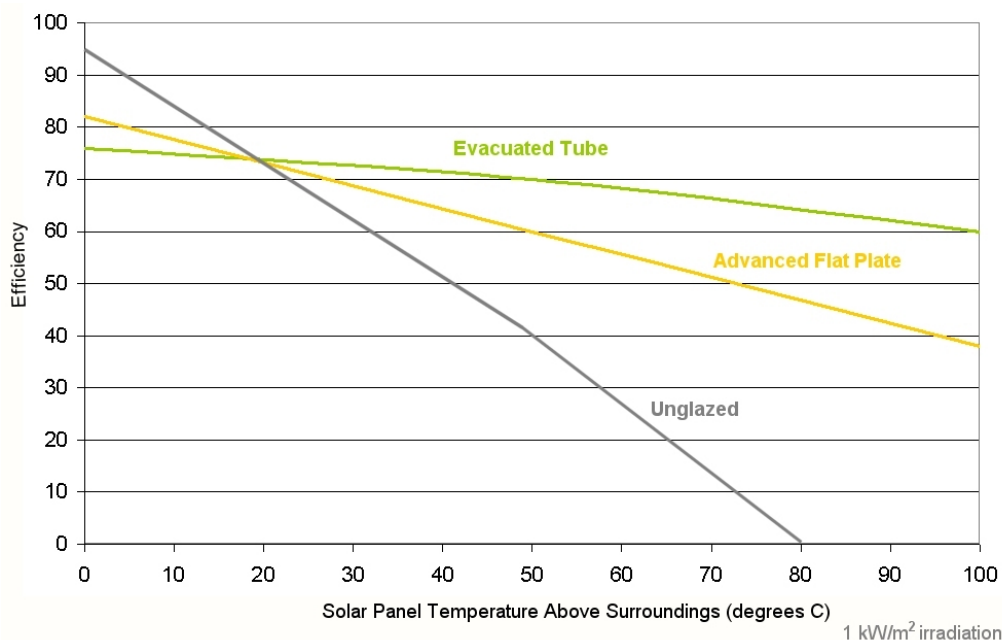
Тези фактори са:

- Размера на изолацията
- Брой и тип на остъкляване на колектора
- Температура на атмосферния въздух
- Средната (или входна) температура на охлаждащата течност



Фиг. 16.1. Типичен двойно-остъклен плосък колектор с течен топлоносител.

На фиг. 16.2 е показана зависимостта на ефективността на различни видове слънчеви колектори от температурата.



Фиг. 16.2. Изменение на ефективността на различни типове топлинни слънчеви колектори с температурата.

Поради липса на отражение от остъкляване, **неостъклените** топлинни колектора имат най-висока ефективност при по-ниски работни температури на колектора. Този факт, съчетан с по-ниската му цена, го прави полезен за отопление на басейни.

Единично-остъкленият колектор също работи добре при по-ниски температури на колектора, но подобно на неостъкления, неговата ефективност намалява при по-високи колекторни температури поради високите фронтални загуби.

Двойно-остъкленият колектор, макар и да не работи твърде добре при по-ниски температури, е по-добър при високи температури и може да се използва за отопление на помещения и/или за охлаждане.

Ефективността на **вакуумно-тръбните** колектори е доста ниска при ниски температури, но тъй като има малки топлинни загуби, тя е много добра при високи температури.

Много важна характеристика на слънчевата повърхност колектор е неговата **селективност**, т. е. съотношението на поглъщателната способност α_s за слънчева светлина към излъчвателната способност за инфрачервената радиация ϵ . Колекторна площ с висока стойност на α_s/ϵ се нарича **селективна повърхност**. Понеже такива повърхности обикновено се изработват чрез нанасяне на покритие, понякога те се наричат селективни покрития. Най-често срещаното търговско селективно покритие е черен хром.

Трябва да се има предвид, че за къси дължини на вълните ($\sim 0.5 \mu$), типични за слънчевата светлина, поглъщателната способност е висока. За по-големи дължини на вълните ($\sim 2 \mu$ и повече) излъчването на абсорбиращата плоскост е високо. Селективните повърхности като цяло работят по-добре от обикновените черни повърхности.

Въздушните слънчеви колектори са полезни там, където крайният продукт е горещ въздух.

Основните им предимства пред течностните колектори са:

- Не замръзват.
- Течовете, макар и нежелани, не са толкова вредни, както и в системи с течен топлоносител.
- Корозията е по-малко вероятна.

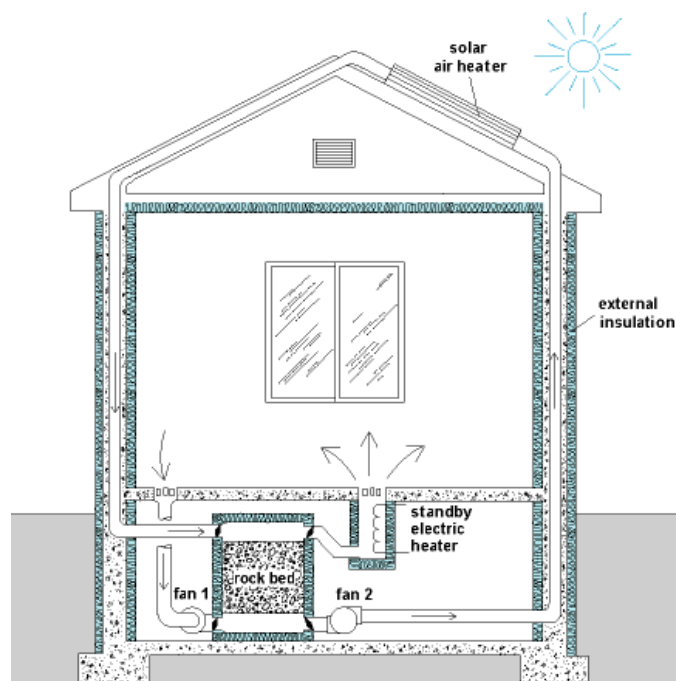
Недостатъците им са:

- Въздушните системи може да изискват големи вентилаторни мощности, ако разстоянията са големи или ако въздуховодите са твърде малки.
- Теплоотдаването към въздуха е лошо от това към течности, затова е необходимо да се интензифицира, иначе са необходими по-големи топлообменни повърхности. Интензификацията най-често става чрез оребряване на повърхностите или с вентилатори от двете страни на повърхността, където въздухът се нагрява или охлажда.

16.2. Тепло-акумулиращи системи

Тъй като енергопотреблението почти никога не е обвързано с наличието на слънчева енергия, необходима част от слънчевата система за отопление или охлаждане е акумулаторът на топлина.

Видът на топлоакумулиращата система обикновено зависи от вида на използваните колектори. Например при въздушен тип колектори често се използва **топлинен акумулатор** с пълнеж от **камък** (Фиг. 16.3).



Фиг. 16.3. Активна слънчева система с въздушни колектори и топлинен акумулатор с камъни в мазето.

Камъните обикновено са с размери от 2 до 5 см в диаметър, за да се получи оптимална комбинация от максимално развита топлообменна повърхност и минимално аеродинамично съпротивление (за малък пад на налягането). Въздушният поток трябва да е насочен надолу за акумулиране на топлината и нагоре - за нейното отдаване, ако този тип система е изпълнен правилно. Хоризонтален въздушен поток през топлоаккумулятора трябва да се избягва.

Размерите на акумулатора, необходим за всяка слънчева отоплителна система, са тясно свързани с размерите на инсталираната колекторна повърхност, като оптималните размери се определят чрез компютърни изчисления. Ако топлоаккумуляторът е твърде голям, системата няма да бъде в състояние да постигне достатъчно високи температури, и в допълнение топлинните загуби ще са високи. Ако обратно, акумулаторът е твърде малък, системата ще прегрява от време на време и няма да може да събира и съхранява достатъчно голяма част от наличната енергия.

Най-често използваните слънчеви топлоакмулиращи системи са тези с **водни резервоари**. Водата има най-висок специфичен топлинен капацитет в сравнение с останалите еднофазни материали. Тя е евтина, нетоксична и лесно се заменя.

Основен недостатък на водата е високото налягане на водните пари при високи температури. Това означава, че за предотвратяване на кипене при високи температури трябва да се поддържа относително високо налягане.

Водата замръзва, следователно в повечето климатични условия системата трябва или да източване колекторната вода обратно в резервоар за съхранение, или да използва антифриз в колекторите и допълнителен топлообменник.

Дренажните устройства в слънчевите водни отоплителни системи трябва да се използват предпазливо, защото един неуспех в правилното им функциониране може да предизвика сериозни щети на колекторите и тръбопроводите. Дренирането е по-обичайна практика в големи системи, където се използва често срещаният тип кожухотръбен топлообменник, който се намира извън топлоакумулатора. Друг метод за предотвратяване на замръзване, по-често използван за малки слънчеви системи, е да се използват намотки от тръби около акумулатора или вътре в него. При всяка инсталация, използваща топлообменници между колекторите и акумулатора, топлообменникът трябва да имат достатъчна топлообменна повърхност, за да се предотврати влошаване на производителността на системата. Недостатъчната площ на топлообменника води до факта, че работната температура на колектора става по-висока от температурата на акумулатора, което понижава ефективността на цялата инсталация. Като правило топлообменниците трябва да бъдат така оразмерени, че к.п.д. им да е най-малко 0.60.

Обикновено в системите с водни акумулатори се наблюдава *стратификация* (разслояване по температура), като най-топлата вода се разполага в горната част на резервоара. Обикновено това е предимство, затова входящият поток в акумулатора трябва така да се проектира, че да не се унищожи тази стратификация. Студената вода на дъното на акумулатора обикновено се изпомпва към външния топлообменник, а по-топлата, връщаща се вода, постъпва в горната част или близо до центъра на резервоара. Горещата вода за използване обикновено се взема от върха на акумулатора.

Фазово-акумулиращите материали (ФАМ) са подробно изследвани за акумулиране на топлина в слънчеви системи. Качествата им зависят от способността на материала за съхранение на топлинна енергия по време на фазовата промяна при постоянна температура. Това е латентна (скрита) акумулация за разлика от явната при каменните и водните акумулатори.

При ФАМ системи в малки габарити могат да се акумулират големи количества топлоенергия с практически постоянна температура. Най-често това са смеси от соли, напр. глауберова сол, парафин и др.

ФАМ са относително скъпи и все още не напълно доказани като време на живот и надеждност. Те обаче предлагат различни предимства, особено по отношение на изискванията за изолация и обем, и без съмнение са перспективни в бъдеще.

Акумулирането на топлоенергия ще заема важен дял в бъдеще в програмите за управление на енергопотреблението както на частните фирми, така и в комуналните услуги. Всяка компания, която желае да използва система за общоевропейска стратегия за управление на енергията, ще трябва да бъде в състояние да следи, прогнозира и контролира тофаровия график, за да сведе до минимум разходите за комунални услуги. Тази стратегия за управление ще става все по-важна, тъй като разходите за електроенергия ще стават все по-променливи на свободния пазар. Ценообразуването в реално време и корпоративните договори ще увеличат още повече потенциала за икономии в системите за

управление, в чиито рамки акумулирането на топлинната енергия ще се превърне в ценен инструмент.

Успешното прилагане на системите за акумулиране на топлина и на ОВК системата като цяло зависи от различни фактори като:

- профила на натоварване на чилъра,
- товарите графици и стимулиращи (грантови) програми,
- състоянието на използвания чилър
- наличното пространство за разполагане на различните системи,
- изборът на подходящ носител, и
- правилното проектиране на системата и нейното интегрирането в сегашната система.

Акумулирането на топлина е много атрактивен метод за намаляване на електрически разходи иза подобряване на система за управление. Монтирането на топлоакумулатори води до намаляване на първоначалните разходи на чилър-системата и до икономии при нейната експлоатация. Системите за акумулиране на топлина ще станат по-търсени в бъдеще, когато с повишаване на масовото им производство и техническия напредък все повече компании ще преминат към тяхното използване.

16.3. Абсорбционни и геотермални термопомпи

16.3.1. Абсорбционни термопомпи

Абсорбционните термопомпи са нов вид термопомпи за жилищни системи, които се задвижват от различни източници на топлина. По същество те са въздушни термопомпи, задвижвани не с електричество, а от източник на топлина като природен газ, пропан, загрята от слънцето вода или геотермална вода.

Тъй като природният газ е най-често източник на топлина за абсорбционните термопомпи, те се наричат още и **газови термопомпи**.

Има и абсорбционни охладители, които работят на същия принцип, но не са обратими и не могат да служат като източник на топлина. Те също се наричат и **газови охладители**.

Жилищните абсорбционни термопомпи използват амонячно-воден абсорбционен цикъл, за да осигурят отопление и охлаждане. Както и в стандартна термопомпа, хладилният агент (в случая амоняк) кондензира в една намотка, при което се освобождава акумулираната в него топлина, след което неговото налягане се понижава и хладилният агент се изпарява, при което се поглъща топлина. Ако системата поглъща топлина от вътрешността на дома, тя осигурява неговото охлаждане; ако се отделя топлина в интериора на дома ви, тя осигурява отопление.

Особеността в принципа на действие на абсорбционните термопомпи е, че изпаряващият се амоняк не се напмпва под налягане в компресора, а се абсорбира във водата. Относително маломощната помпа напмпва сместа до по-високо налягане. Проблемът след това е само в отделянето на амоняка от водата

и тук се включва топлинният източник, като топлината всъщност изпарява амоняка от водата и цикъла се повтаря.

Ключов компонент в предлаганите в момента на пазара устройства е технологията генератор-абсорбатор-топлообменник или GAX, която повишава ефективността на устройството чрез повторно използване на топлината, която се освобождава, когато амонякът се абсорбира във водата. Други нововъведения включват високоефективна сепарация на парата, променливи потоци на амоняка и нискоемисионно, с променлив капацитет, изгаряне на природния газ.

Въпреки, че се използват основно в промишлени или търговски условия, абсорбционните охладители се предлагат вече и за големи жилищни постройки, като за тези цели в процес на разработка са и абсорбционни термомпомпи. Наличните в момента 5-тонни жилищни охладителни системи са подходящи единствено за домове и офиси с площ над 370 м².

Използването на абсорбционни охладители и термомпомпи обикновено има смисъл само в сгради без електричество. Но те имат допълнително предимство в това, че могат да използват различни топлинни източници - слънчева енергия, геотермална гореща вода или други. Абсорбционните инсталации могат да се използват също и в зонирани системи, в които в различни части на сградата се поддържат различни температури.

Ефективността на въздушните абсорбционни охладители и топлинни помпи се изразява чрез коефициента на преобразуване (трансформация) - COP. COP представлява отношението на отнетата топлина (при охлаждане) или на отдадената топлинна енергия (при отопление) в kJ към изразходваната за това енергия в kJ. Търсете подобни съоръжения с ефективност при отопление над 1.2 COP и ефективност при охлаждане над 0.7 COP.

16.3.2. Геотермални термомпомпи

Топлината, съдържаща се в подпочвените води, може да се използва с малко или с почти никакви разходи за ОВК нужди и в процеса на отопление. Има много предприемачи, които използват термомпомпи със земен източник, самостоятелно или в комбинация с други системи. Използването на такива системи варират от отопление на водата в развъдници за риба, например в Канада, до покриване до 88% от нуждите за отопление и охлаждане на една голяма болница и на жилищен комплекс в Швеция и Норвегия съответно.

Възможността за използване на топлинни помпи, предназначени за извличане (или разсейване) на топлина от земните недра, се счита все повече за приложима. Вероятно поради новостта на технологията, липсата на специфични знания в инженерните фирми и целевите индустрии или малкия брой налични демонстрационни проекти, по-широкото използване на геотермални термомпомпи е само в начален етап. Все пак използване на такива термомпомпи е ценен метод за подобряване на енергийната ефективност на индустриалните процеси, което допринася за намаляване на потреблението на първична енергия. Някои много интересни и изключително ефективни системи за редица индустриални приложения са създадени в различни страни като Канада, Швеция и Япония.

Геотермалните термopомпи (понякога наричани GeoExchange, земно-свързани, земен източник или термopомпи са воден източник) са в експлоатация от края на 1940 г. Геотермалните термopомпи (ГТП или GHPs) използват като среда за топлообмен постоянната температура на земята вместо температурата на външния въздух. Това позволява на системата да достигне доста висока ефективност (в границите на 300% - 600%) в най-студените зимни нощи в сравнение с 175% - 250% за въздушните термopомпи в прохладните дни.

Докато в много части на страната сезонните температури варират в широки граници - от горещини през лятото до под нулата студ през зимата - на няколко метра под повърхността на земята температурата остава сравнително постоянна. В зависимост от географската ширина, земните температури варират от 7° C до 21° C. Както е в една пещера, температурата под земния слой е по-топла от въздуха над нея през зимата и по-хладна, отколкото на въздуха през лятото. ГТП се възползват от това чрез обмяна на топлина със земята посредством топлообменник.

Както при всяка термopомпа, геотермалните и водни топлинни помпи са в състояние да отопляват, охлаждат и, ако са така оборудвани, да снабдяват къщата и с топла вода. Някои модели геотермални системи се предлагат с двускоростни компресори и променливи вентилатори за повече комфорт и икономия на енергия. В сравнение с въздушните термopомпи те са по-тихи, с по-дълъг живот, нуждаят се от по-малка поддръжка и не зависят от температурата на външния въздух.

Термopомпата с двоен топлинен източник комбинира въздушната с геотермалната топлинни помпи. Тези уреди съчетават най-доброто от двете системи. Те имат по-висок К.П.Д. в сравнение с въздушните термopомпи, но не са толкова ефикасни, колкото геотермалните.

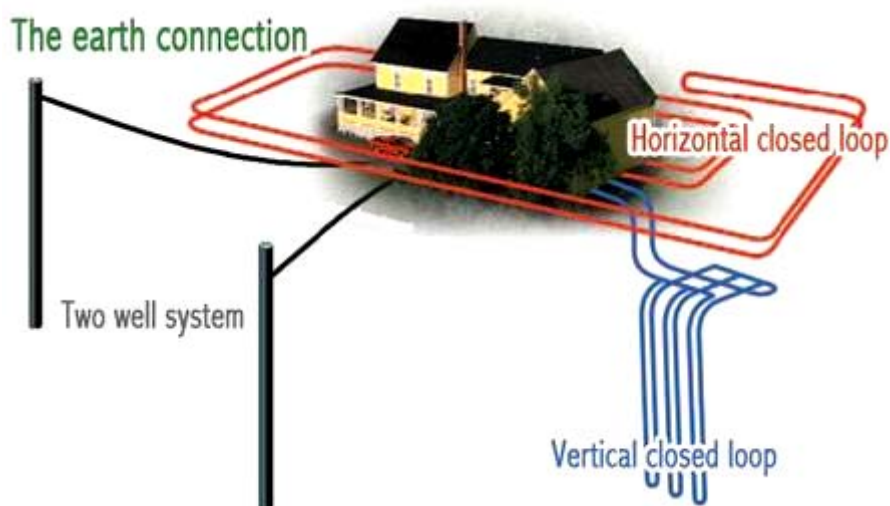
Основното предимство на системите с двоен източник е, че инсталационните им разходи са много по-малки от тези за геотермална помпа, а работят почти толкова добре. Въпреки, че цената за инсталиране на геотермална система може да бъде няколко пъти по-висока от тази на въздушна система за отопление и охлаждане със същия капацитет, допълнителните разходи се връщат от спестяване на енергия след 5 - 10 години. Експлоатационният им период се оценява на 25 години за вътрешните компоненти и над 50 години за земния контур. Всяка година в САЩ се инсталират около 50 000 геотермални топлинни помпи.

Има четири основни типа системи на земните контури на геотермалните термopомпи. Три от тях - хоризонтални, вертикални, и язовир/езерo - са *затворени системи*. Четвъртият тип система е с *отворен цикъл*. Кой от тях е най-подходящ зависи от климата, почвените условия, наличната земя, както и местните разходи за монтаж на обекта. Всички тези подходи могат да се използват за жилищни и търговски комплекси.

Системи със затворен контур – хоризонтална и вертикална (Фиг. 16.4).

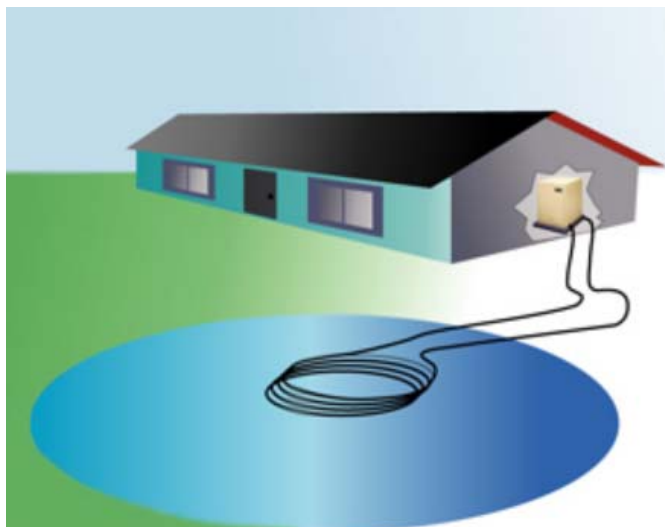
Хоризонталният контур на геотермалните инсталации като цяло е най-рентабилен за жилищни комплекси, особено за ново строителство, където има достатъчно земя. Тя изисква траншеи с дълбочина най-малко 1.2 м. Най-често срещаните оформлени са или две тръби, закопани една под друга - едната на 2 м, а другата на 1.2 м, или две тръби, поставени една до друга на 1.5 м в земята в изкоп със широчина 60 см.

Големите търговски сгради и училища най-често използват *вертикални контури*, тъй като площта, необходима за хоризонтални контури, е недостатъчна. Вертикалният тип инсталации се използва, когато почвата е прекалено плитка за прокопаване на канали или да се сведе до минимум нарушенията в съществуващото озеленяване. Отвори (приблизително около 10 см в диаметър) се пробиват на около 6 м една от друга и на 30 - 120 м дълбочина. Вертикалните тръби са свързани с хоризонтална тръба (колектор), поставена в изкопите и свързан с термopомпата в сградата.



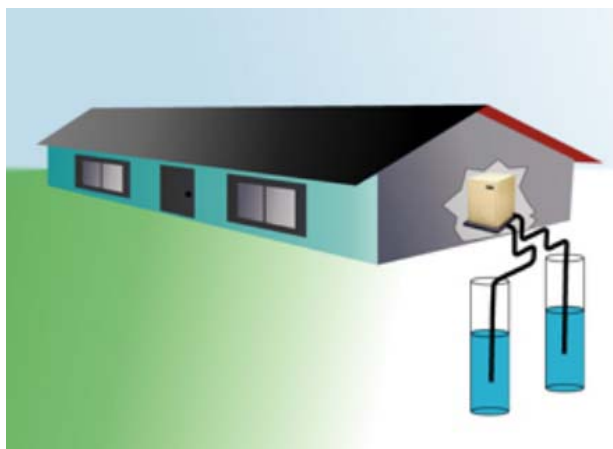
Фиг 16.4. Хоризонтален и вертикален контур на затворени системи.

Язовир/Езеро. Ако се разполага с достатъчен по обем воден обект, това може да бъде най-евтиното решение. Захранващата линия се прокопава подземно от сградата до водата и се навива в кръгове най-малко на осем метра под повърхността, за да се предотврати замръзване (Фиг. 16.5). Намотките трябва да бъдат поставяни само във водоизточник, който отговаря на изискванията за минималния обем, дълбочина, и критериите за качество.



Фиг. 16.5. Геотермална термopомпа за язовир, езеро или река.

Геотермални системи с отворен контур (Фиг. 16.6). Този тип система използва за топлообмен кладенци или вода в открити водоеми, която циркулира директно през системата на геотермалната помпа. След като е преминала през системата, водата се връща в земята през кладенеца, през връщащ сондаж или чрез изливане в свободна водна повърхност. Това практически е възможно само когато може да се използва относително чиста вода и са изпълнени всички местни правила и разпоредби за използване на подпочвените води.

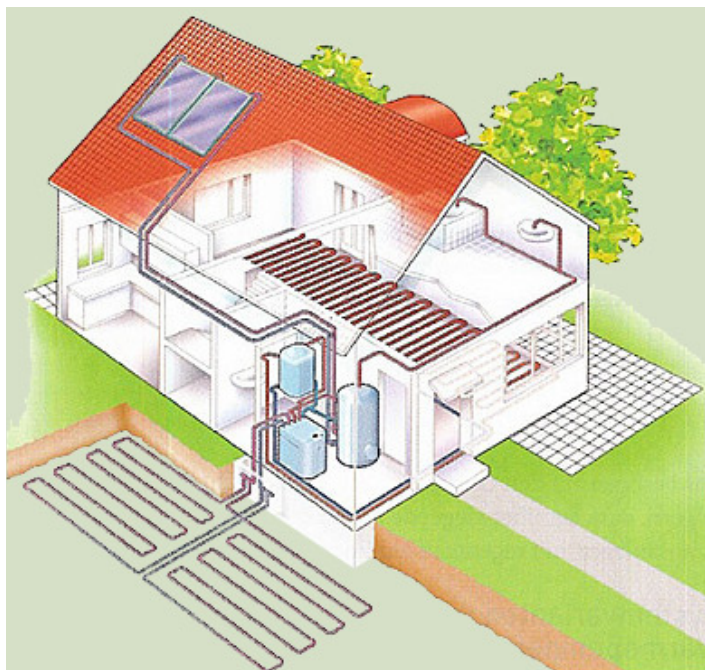


Фиг. 16.6. Геотермална термopомпа с отворен контур - кладенци.

Хибридни системи. Хибридните системи, използващи няколко различни геотермални ресурси или комбинация от геотермален ресурс с външния въздух (т.е. охладителна кула), са друга алтернативна технология. Хибридният подход е особено ефективен, когато нуждите от охлаждане са значително по-големи от нуждите за отопление.

Когато местните геоложки условия позволяват, технологията "стояща колона" е друга възможност. В този вариант в една система с отворен контур се пробиват един или повече дълбоки вертикални кладенци. Водата се черпи от дъното на постоянната колона и се връща на върха. По време на пиково

отопление и охлаждане системата може да изтегли част на връщащата вода, дори да я реинжектира цялата, което води до приток на вода към колоната от заобикалящата водоносен хоризонт. Реинжекционният цикъл охлажда колоната по време на отделяне на топлина, загрява я по време на извличане на топлина от земните пластове и намалява необходимата дълбочина на сондиране.



Фиг. 16.7. Хибридна система заедно със слънчеви топлинни колектори.

16.4. Отпадъчна топлина от технологични процеси

В най-общ смисъл отпадъчната (*вторична*) топлина е енергията, свързана с отпадъчните технологични потоци въздух, изгорели газове и течности, които се изхвърлят в околната среда. Очевидно е, че тези потоци в крайна сметка се смесват с атмосферния въздух или подземните води, както и че енергията в тези потоци става неизползваема. Абсорбирането на отпадъчната енергия от околната среда често се нарича термично замърсяване.

В по-ограничен смисъл *отпадъчна топлина* е тази, която се изхвърля от технологичните процеси с достатъчно висока температура над температурата на околната среда, за да е икономически изгодно да се използва повторно някаква част от тази енергия за полезни цели.

Отпадната топлина се остатъчната топлина, отделена от даден процес при температура, по-висока от температурата на околния въздух. Често при температури, по-ниски от необходимите, те трябва да бъдат повишени или "подобвени" чрез използване на подходящо оборудване. Нов поглед към този вид възможност в даден завод може да доведе до изненадващи енергийни спестявания. Например в химическото производство е възможно да се измени технологичния процес и да се използва част от топлината от процеса на охлаждане на водата, обикновено канализационната, за подгръване на въздуха в редица сгради. Простият срок на откупуване е по-малко от четири години.

Използването на отпадната топлинна енергия на технологичните процеси трябва да бъде приоритетно, защото такива системи обикновено изискват по-малко контрол и са по-евтини за инсталиране.

16.4.1. Ползи от използването на отпадъчна топлина

Основната причина за повторно използване на отпадъчната топлина е икономическа. Цялата вторична топлина, която успешно е рециклирана, директно замества част от закупената енергия и следователно намалява потреблението и цената на тази енергия, както и може да намали капиталовите разходи в нови инсталации.

Друга потенциална полза е, когато използване на отпадна топлина води до намаляване на изискванията за определен капацитет на оборудванията за преобразуване на енергия. По този начин чрез използването на топлина от оползотворяване на отпадъците може да се намалят капиталовите разходи в нови инсталации. Един добър пример е, когато се оползотворява отпадъчната топлина от въздуха на смукателна вентилация за предварително затопляне на външния въздух, постъпващ в една сграда. Това позволява намаляване на капацитета на котлите, използвани за отопление на завода. Спестяванията от капиталови разходи за енергопреобразуващите инсталации може да бъдат достатъчно големи, за да компенсират напълно разходите на системата за използване на отпадна топлина.

Полза може да се получи и в някои много специални случаи, например когато се инсталира инсинератор за разлагане на твърди, течни или газообразни замърсители, като цената на процеса значително да се намали чрез използване на отпадъчна топлината от отработените газове от инсинератора.

В заключение, във всеки случай на повторно използване на отпадна топлина се получава безвъзмездна полза от намаляване на топлинното замърсяване на околната среда със сума, равна на възстановената енергия, без преки разходи за фирмата, която оползотворява.

16.4.2. Оползотворяване на отпадна топлина с термопомпи

Термопомпите предлагат ограничени възможности за оползотворяване на отпадъчната топлина, просто защото разходите за притежаване и експлоатация на термопомпата може да надвишават стойността на отпадъчната топлина.

Термопомпата е устройство, което работи циклично, така че енергията, погълната при ниска температура, се трансформира в енергия с по-висока температура чрез прилагане на външна работа, която може да се получи от съществуващия товар на оборудването.

Една индустриална механична охладителна инсталация може да се използва и като термопомпа с малки изменения. Коефициентът на трансформация (COP) на термопомпния цикъл представлява просто отношение на получената топлинна енергия към извършената за това работа. Тъй като необходимата работа трябва да бъдат изпълнени от някакъв първичен двигател, който може да е електромотор или двигател с вътрешно горене (ДВГ), COP на

термопомпата трябва да бъде значително по-голям от 3.0, за да бъде икономически изгоден източник на енергия. Това е така, защото ефективността на първичните двигатели, използвани за задвижване на термопомпата или за генериране на електрическа енергия за задвижване на двигателя, имат ефективност по-малка от 33%. Максималният теоретичен COP за идеалната термопомпа се дава от

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{1}{(1 - T_L / T_H)}$$

където: T_L = температура на енергийния източник; T_H = температура на енергийния товар.

Идеалният цикъл обаче използва идеална турбина като разширител на пари вместо обичайните дроселни клапи в разширителната линия на охладителната инсталация.

Няколко са факторите, които отличават реалната топлинна помпа от идеалната:

- Ефективността (к.п.д.) на реалния компресор не е 100%, а е по-скоро в диапазона 65-85%.
- Използването на турбина като разширител на парата е твърде скъпо решение, затова то се използва само при най-големите инсталации. В масовите случаи, вместо идеален цикъл на разширяване чрез турбина, се използва процес на дроселиране, който е с максимална степен на необратимост и цялата потенциална работа на турбината се губи в термопомпения цикъл.
- Наличието на загуби от триене при движение на течностите в тръбопроводите, компресорите и арматурата.

За да се постигне на практика движение на топлинния поток от източника към товара се изискват по-високи температури в кондензатора и по-ниски в изпарителя от теоретичните.

16.4.3. Смесителни (отворени) топлообменници за отпадна топлина

Смесителен топлообменник е този, в който се смесват два потока течности и формират трети изходен поток, чиято енергия (и температура) са междинни между двата входни потока.

Основните предимства на този тип топлообменници са изключителната простота и ниски производствени разходи, без сложни вътрешни части.

Недостатъците им са, че:

1. Всички потоци трябва да бъдат с еднакво налягане, и
2. Възможно е замърсяване на изходните потоци от всеки един от входните потоци.

Някои ефективни приложения на смесителни топлообменници за отпадна топлина са:

- изходящата пара от задвижвана с парна турбина захранваща водна помпа в заводска котелна може да се използва за подгръване на захранващата вода за деаератора.

- въздуха в помещенията може да се temperира чрез смесването му с горещи продукти от изхода на печ на природен газ преди изхвърлянето им в околното пространство (тук трябва да се проверява за опасност от токсичния въглероден окис!).
- постоянната продувка от сепаратора на котелното може да се използва за загряване на горещата вода за измиване и изплакване в обществени перални.

16.4.4. Каскадно (серийно) използване на технологични въздух и вода

В някои случаи потоците от отпадъчни въздух и вода може да се използват директно за отопление, без предварително смесване с други потоци. Някои практически приложения включват:

- водата за охлаждане на кондензатора от група охладители може да се използва директно като вода за измиване в хранително-преработвателни предприятия;
- парният кондензат от водонагревателите за измиване може да се добавя директно към водата за измиване в цеховете за бутилиране на пивоварни;
- въздух от охладителната секция на тунелна печ може да се използва като отоплителна среда в сушилните за огнеупорни изделия;
- кондензата от пара за подгриване на химически вани може да се върне директно във ваните;
- отработените газове от котел на отпадъчна топлина може да се използва като отоплителна среда за сушене на дървен материал.

Във всички случаи трябва да се има предвид вероятността за заразяване от смесване или вторично използван топлоносител.

16.4.5. Затворени топлообменници

За разлика от отворения (*смесителен*) топлообменник, при затворения топлообменник топлината се предава от горещия на студения топлоносител през разделяща ги стена. При тях, следователно, се осъществява типичен процес на топлопреминаване и то най-често стационарен. Този тип топлообменници са най-разпространените.

Причините за разделяне на потоците могат да бъдат:

- може да съществува разлика в налягането между двата потока течност. Твърдите стени на топлообменника са проектирани да издържат на разликите в налягането.
- един от потоците би могъл да зарази другия, ако те се смесят. Разделителните стени на този тип топлообменници предотвратява смесването.
- позволява използването на междинни, по-подходящи от основните потоци, топлоносители за транспортиране на отпадъчната топлина на дълги разстояния.

Докато за междинен топлоносител най-често се използва пара, гликол и водни разтвори, то могат да бъдат използвани и други вещества в зависимост от техните специфични свойства.

Затворените топлообменници попадат в общата класификация на промишлените топлообменници, но те имат много наименования, свързани с тяхната специфична форма или тяхното специфично приложение. Те могат да бъдат наречени *рекуператори, регенератори, котли на отпадъчна топлина, кондензатори, кожухотръбни топлообменници, пластинчати топлообменници, водоподгреватели, економайзери* и така нататък. Каквото и име да им се дава, всички те изпълняват една основна функция - пренос на топлина през твърди и непроницаеми прегради.

16.4.6. Байпасни системи

Когато е необходимо да се осигури изолиране на отоплението и на отоплителните системи, или когато става изгодно да се използва междинна среда за топлопренасяне на дълги разстояния между две системи, се използва байпасна система за оползотворяване на топлината. Циркулиращата среда е смес от вода и гликол, избрана заради ниската си точка на замръзване.

През зимата отработеният въздух отдава своята енергия на гликола в топлообменника, разположен в изпускателния въздуховод. Гликолът циркулира чрез малка помпа към втори топлообменник, разположен на входа на въздуховода. Външният въздух предварително се подгрива чрез оползотворяване на отпадната топлина, чрез което се замества топлината, която иначе би била добавена чрез основните нагреватели на въздуха в сградата.

По време на охлаждащия сезон топлообменникът, включен в изходящата тръба на отработения въздух и на входния канал, предварително охлажда външния въздух, преди той да премине през охлаждащите серпентини на основните въздухоохладители.

Байпасни системи се използват основно тогава, когато на дълги разстояния входящия и изходящия въздуховоди са раздалечени. Ако те са близо един до друг, един топлообменник въздух-въздух с подходящи тръбопроводи би бил по-икономичен.

16.4.7. Намаляване на енергийните разходи

Оползотворяването на отпадъчна топлина (или на излишъка от топлина), т.нар. рекулперация, е процес на възстановяване и повторно използване на остатъчна топлина с цел заместване на закупена енергия. Възможностите за топлинна рекулперация възникват в производствените процеса и вътрешните системи на почти всички инсталации. Възстановяването и повторното използване на отпадъчна топлина може да значително да намали енергийните разходи и да подобри рентабилността на всяка операция.

Използваема енергия може да се получи от:

- горещи изходящи димни газове;
- гореща или студена вода, изливана в канализацията;
- отработения въздух;
- горещи или студени продукти или отпадъчни продукти;
- охлаждаща вода или хидравлично масло;

- геотермална енергия;
- топлина от слънчеви панели;
- топлина от прегряване и кондензиране, отделени от хладилната техника;
- други източници.

При планиране рекуперацията на отпадъчна топлина трябва да се вземат предвид следните съображения [10]:

- Сравнете запасите и нуждите от топлинна енергия.
- Определете леснодостъпен ли е източника на отпадъчна топлина.
- Оценете разстоянието между източника и потребителя.
- Оценете вида, качеството и състоянието на източника на отпадъчна топлина.
- да се изследва дали внедряването на даден проект за оползотворяване на отпадъчна топлина ще има някакви последици за качеството на основния продукта.
- Определете температурния градиент и температура на обекта, предвиден за захранване с отпадъчна топлина.
- Определете всякакви регулаторни ограничения по отношение на потенциалната вероятност за замърсяване на продукта и за здравето и безопасността на персонала.
- Оценете изгодността чрез икономически сравнения (използвайки периода на откупуване и анюитетния метод за оценка) на избраните варианти за оползотворяване на топлината.

16.4. Пречиствателни станции за отпадъчни води (ПСОВ)

Някои възможности за намаляване на разходите в тези случаи:

- възстановяване на латентната топлина от производствени отпадъчни води и/или от потоци, особено където анаеробните системи са с по-високи температури;
- използване на биогаз от анаеробни инсталации за отпадни води за допълване на енергийните нужди на предприятието;
- следене на нивата разтворен кислород в аеробните инсталации за отпадни води и методите на аерация (замяна на неефективно оборудване за аерация);
- инсталиране на система за оптимизация на контрола на аерация за намаляване на енергийните разходи за вентилатор.

Някои допълнителни мерки, които биха могли да се реализират, където е възможно:

- Инсталирането на микрофилтрационни инсталации може да помогне за използване, вместо изхвърляне, на големи обеми от течност (и топлина, съдържащи се в него) при повторна употреба.

- Използване на отпадната топлина от отработили газове на когенерации за отопление на оранжерии и използването на CO в отработените газове, за стимулиране растежа на растенията.
- Увеличението на етапите в процеса на изпаряване може да подобри енергийната ефективност.
- Замяна на пневматични конвейерни системи с механични конвейери.

17. Приложение: Методика за изчисляване на емисиите от въглероден диоксид

17.1. Методика за изчисляване на CO₂ емисиите

Предлаганата методика се базира на Методиката за изчисляване по балансови методи на емисиите на вредни вещества (замърсители), изпускани в атмосферния въздух на Министерството на околната среда и водите в България.

17.1.1. Емисионни фактори. Методология и стойности

Емисионните фактори на CO₂ от горивните процеси с различни видове горива се измерват в g/GJ. За да се оцени емисията на даден замърсител следва да се изчисли топлопроизводството в GJ, т.е. количеството отделена топлина от изгаряне на горивото. Произведението на емисионния фактор със стойността на топлопроизводството дава емисията. Затова е необходимо в изходните данни да присъства количеството изгорено гориво и долната му топлина на изгаряне (GJ/t).

Емисионните фактори за CO₂ за различни видове най-използвани горива са представени в Таблица 17.1, където:

S^r - процентно съдържание на сяра на съответното гориво (на работна маса)

C^r - процентно съдържание на въглерод на съответното гориво (на работна маса)

Q_i^r - долна топлина на изгаряне на съответното гориво (GJ/t)

Таблица 17.1. Емисионни фактори за CO₂

Вид гориво	EF, g/GJ
черни (антрацитни) въглища	$3,52 \cdot 10^4 \cdot C^r / Q_i^r$
лигнитни (кафяви) въглища	$3,52 \cdot 10^4 \cdot C^r / Q_i^r$
котелно гориво (мазут)	$3,63 \cdot 10^4 \cdot C^r / Q_i^r$
газъол за промишлени и комунални цели (нафта)	70 180
природен газ	55 800

ПРИМЕРИ:

Пример 1: Теплоелектроцентрала изгаря годишно по 60 000 t кафяви въглища със съдържание на сяра 1.7%, на въглерод 29.6% и долна топлина на изгаряне 11.3 GJ/t. Да се определят годишните емисии на въглероден двуокис (CO₂).

Топлопроизводството на централата е: 60 000 t . 11.3 GJ/t = 678 000 GJ

Емисионните фактори и емисиите CO₂ са:

- Емисионният фактор за CO₂ е: $EF_{CO_2} = 3.52 \cdot 10^4 \cdot (29.6/11.3) = 92\,205 \text{ g/GJ}$

- Емисиите на CO₂ са: $678\,000\text{ GJ} \cdot 92\,205\text{ g/GJ} \cdot 10^{-6} = 62\,515\text{ t}$

Пример 2: Котел изгаря годишно 25 000 t високосернисто котелно гориво (мазут) марка 20 със съдържание на сяра 3.0%, на въглерод 85.0% и долна топлина на изгаряне 39.6 GJ/t. Да се определят годишните емисии на въглероден двуокис (CO₂).

Топлопроизводството на котела е: $25\,000\text{ t} \cdot 39.6\text{ GJ/t} = 990\,000\text{ GJ}$

Емисионните фактори и емисиите на въглероден двуокис са:

- Емисионният фактор за CO₂ е: $EF_{CO_2} = 3.63 \cdot 10^4 \cdot (85/39.6) = 77\,917\text{ g/GJ}$
- Емисиите на CO₂ са: $990\,000\text{ GJ} \cdot 77\,917\text{ g/GJ} \cdot 10^{-6} = 77\,138\text{ t}$

На базата на осреднен елементарен състав и долна топлина на изгаряне на българските горива и в съответствие с представената по-горе методика е дадена таблица 17.2 с емисионните им фактори, като за удобство емисионните фактори са представени в (kg CO₂/kWh).

Таблица 17.2. Емисионни фактори за CO₂ на различни енергоизточници

Енергиен източник	Емисионен фактор, kg CO ₂ /kWh
Електроенергия (спестена)	1.039
Електроенергия (произведена)	0.833
Газьол (нафта)	0.253
Мазут	0.287
Природен газ	0.201
Пропан-бутан	0.231
Лигнитни въглища	0.371
Черни въглища	0.321

17.1.2. Емисионни фактори на CO₂ от спестена или генерирана електрическа енергия

Количественото намаляване на емисиите на въглероден диоксид се оценява чрез използване на „Прегледа на емисионните фактори за електричество” на MWH SpA от м. Ноември, 2009. MWH SpA си запазва правото да извърши преглед и да актуализира факторите на въглеродните емисии за електроенергия и за първична енергия за различните страни. Основната цел на дейността е да предоставя актуална и надеждна стойности за изработването на проектни документи.

Терминология:

- **EF (Emission Factor)_{grid,produced}** се използва за изчисляване на емисиите за проекти, които доставят допълнителна електроенергия в мрежата, t_{CO₂}/MWh;
- **EF (Emission Factor)_{grid,reduced}** се използва за проекти, намаляващи консумацията на електроенергия от мрежата, t_{CO₂}/MWh.

Изследвани източници:

Прегледът на емисионните фактори се базира, на първо място, на анализ на одобрена документация за разработване на проекти, регистрирана на официалния уебсайт на UNFCCC. Намерените документи са предоставили

надеждни стойности на емисионните фактори за произведена електроенергия за Армения, България, Унгария, Латвия, Литва, Монголия и Украйна.

За страните, за които няма на разположение регистрирани нормативни документи за проектиране, е извършено прецизно изследвания на данни от различни официални уеб сайтове и документи.

Според нас най-надежден от тези източници е "Оперативни насоки за PDDs на JI проекти, май 2004 г.", разработен от Министерството на икономиката на Холандия с цел да се улесни разработването на документи за проектиране. Тази публикация предоставя данни за Беларус, Хърватия, Естония, Унгария, Латвия, Полша, Румъния, Русия, Словакия и Словения.

За Украйна е използван документа "Стандартизирани емисионни фактори за украинската електропреносна мрежа, 2007 г.", разработен от Global Carbon BV (финансиран от ЕБВР и Министерството на икономиката на Холандия). За останалите страни данните са взети от документа "Администрация по енергийната информация на САЩ, базираща се на данни от следните източници: Международната енергийна агенция (IEA), База данни за електроенергията за 2007 г. и емисиите на CO₂ от базата данни за изгаряне на горивото от 2006 г., <http://www.iea.org>, Октомври 2007 г."

За изчисляване на емисионните фактори за проекти, съкращаващи консумацията на електроенергия от мрежата ($EF_{grid, reduced}$), се прилага следната зависимост:

$$EF_{grid, reduced} = \frac{EF_{grid, produced}}{1 - losses}$$

Загубите в мрежата за всяка от страните са изчислени въз основа на данните, цитирани в статистиката на IEA, актуализирана до 2006 г.

Тъй като изчисленията на емисиите на CO₂ за "реализирани икономия на електроенергия" ще се отнася за периода след 2012 г. и там в момента няма публикувани официални данни се предлага за годините след 2012 г. да се приемат същите стойности за емисионните фактори, както за 2012 г:

$$EF_{grid, produced} = 0.833 \text{ t}_{CO_2}/\text{MWh}$$

$$EF_{grid, reduced} = 1.039 \text{ t}_{CO_2}/\text{MWh}$$

ПРИМЕРИ:

В резултат на внедрена ЕСМ в производствена линия са постигнати 500 MWh годишни икономии на електроенергия. Да се определи намалението на годишните емисии на въглероден двуокис (CO₂).

Емисионните фактори и емисиите на въглероден двуокис са:

- Емисионният фактор за CO₂ е: $EF_{grid, reduced} = 1.039 \text{ t}_{CO_2}/\text{MWh}$
- Емисиите на CO₂ са: $500 \text{ MWh} \cdot 1.039 \text{ t}_{CO_2}/\text{MWh} = 519.5 \text{ t}$

17.2. Изчисляване на икономииите

Терминология:

- **ESR** (*Energy saving ratio*) - Степен на пестене на енергия:

$$ESR = AES/AEC$$

- **AEC** (*Annual energy consumption*) – Средногодишната обща консумация на енергия (в MWh) за системата.
- **AECI** (*Initial annual energy consumption*) – Начална годишна консумация на енергия.
- **AECF** (*Final annual energy consumption*) - Очакваната годишна консумация на енергия завършване на проекта, изразена в MWh.
- **AES** (*Annual energy saving*) - Количеството от годишната консумация на енергия, което се очаква да бъде спестено след завършване на проекта, MWh. В случай, че има промяна на производствения капацитет на предприятието вследствие изпълнението на проекта, годишните енергийни спестявания се изчисляват на единица продукция:

$$AES = AECI - AECF$$

$$AES = \frac{AECI}{NI} - \frac{AECF}{NF}$$

- **NI** (*Initial production*) – Начална продукция.
- **NF** (*Final production*) – Крайна продукция.

I. Производственият капацитет на предприятието не се променя

В случай, че производството на предприятието остава същото, изходните стойности на консумираната енергия (AECI) се основават на събраната информация по време на енергиен одит за енергията, консумирана от системата. В случай на липса на измервания, базовата линия се изчислява чрез инсталираната мощност на системата, средните работни часове и фактора на натоварване. Крайното годишно потребление на енергия се изчислява на базата на основните технически параметри на новото оборудване, работното време и фактора на натоварване. Степента на спестена енергия се изчислява с помощта на формулата за ESR, дадена в терминологията.

Фабрика за тоалетна хартия:

ЕСМ – Замяна на 2 машини за тоалетна хартия с 1 нова.

- AECI 219 MWh/yr
- NI 3 357 t/yr
- AECF 123 MWh
- NF 3 357 t

$$AES = 219 - 123 = 96 \text{ MWh/yr}; \quad ESR = 96/219 = 0.438 = 44 \%$$

Други ползи - намаляване на отпадъците, намаляване на вторното съхранение на продукта, намаляване на разходите за експлоатация и поддръжка, намаляване на маршрутите за доставка на материали.

II. Производственият капацитет на предприятието се увеличава

В случай, че производителността на предприятието се увеличава след въвеждането на ЕСМ, годишните икономии на енергия се изчисляват на единица продукция в kWh/един.прод.

$$AES = \frac{AECI}{NI} - \frac{AECF}{NF}$$

С тази формула може да бъде оценена спестената енергия за единица продукция и съответно степента на икономия на енергия (ESR) ще се изчислява на единица продукция в %.

$$ESR = \frac{\frac{AECI}{NI} - \frac{AECF}{NF}}{\frac{AECI}{NI}}$$

В случай, че е необходимо да се изчислят икономии на енергия в MWh/год, трябва да се определи нова базова линия. Потреблението на енергия може да бъде сравнено само за едно и също производство. За базова линия се приема енергийната консумация за единица продукция, умножена по очакваната увеличена продукция, т.е. колко енергия ще се консумира, ако предприятието ще произвежда NF единици. Първоначалната годишна консумация на енергия в MWh/год. щ бъде:

$$AECI' = AECI \frac{NF}{NI}$$

Годишната икономия на енергия в MWh/год. ще бъде:

$$AES = \frac{AECI}{NI} NF - AECF$$

Степента на спестяване на енергия (ESR) ще се изчислява по същата формула, както за единица продукция

Хлебопекарна:

ЕСМ – Замяна на тестобъркачки.

- AECI 104.4 MWh/yr
- NI 15 660 t/yr
- AECF 78.3 MWh
- NF 19 400 t

$$AES = \frac{104400}{15660} - \frac{78200}{19400} = 2.631 \text{ kWh/t}$$

$$ESR = \frac{2.631}{104400} = 0.3946 = 39.46 \%$$

$$AECI' = 104.4 \frac{19400}{15600} = 129.3 \text{ MWh/yr}$$

$$AES = \frac{AECI}{NI} NF - AECF = 129.3 - 78.3 = 51 \text{ MWh/yr}$$

$$ESR = \frac{\frac{AECI}{NI} NF - AECF}{\frac{AECI}{NI} NF} = \frac{51}{129.3} = 39.46 \%$$

18. Литература

1. EC (2009). “Reference Document on Best Available Technologies for Energy Efficiency”.
2. EC (2005). “Framework Directive 2005/32/EC for the setting of eco-design requirements for energy using products”.
3. Szabo L., Dr (2007). “Energy efficiency indicators”.
4. EC (2006). “Council Directive 2006/32/EC on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC”.
5. Hardell R. and Fors J. (2005). “How should energy efficiency be defined”.
6. International Performance Measurement & Verification Protocol, www.ipmvp.org, DOE/GO-102002-1554.
7. Калоянов Н., Д. Баев, Д. Дуков. Енергиен мениджмънт в малки и средни предприятия, практическо помагало.
http://www.ems-textile.eu/files/Energy_Management_Manual_BG.pdf
8. Kumar P. (2010). “Training Manual on Energy Efficiency for SME”, APO.
9. DOE. Improving Steam System Performance, A Sourcebook for Industry:
<http://industrial-energy.lbl.gov/files/industrial-energy/active/0/Steam%20Sourcebook.pdf>.
10. OEE (2002). “Energy Efficiency Planning and Management Guide”.
11. UKEEP. Best Practice Guide - Energy Efficiency and Renewable Energy:
www.ukeep.org.
12. Energie Effizienz in Kältesystemen, klima aktiv Austria.
13. GPG268. (2006). Energy efficient ventilation in dwellings – a guide for specifiers.
14. Sustainability Victoria (2009). "Energy Efficiency Best Practice Guide Pumping Systems".
15. Сп. Инженеринг ревю, София, бр. 2, бр. 4, 2011.