

*MERCOFRIO 2000 CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO,
AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL*

ANALISE DA COMPETIVIDADE DAS INSTALAÇÕES DE BOMBAS DE CALOR

Chirkin Mikola B., e-mail: Luyudmila@deel.uem.mz

Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Engenharia Mecânica

C.P. 257, Av. de Moçambique, km 1.5, Maputo, Moçambique

Fabião M.A.Cumbe, e-mail: fabiao@deel.uem.mz

Resumo. *Discute-se o problema de aproveitamento das bombas de calor como fonte alternativa de calor. Baseando-se na noção do teor da utilização da energia primária, faz-se a análise da competitividade das instalações das bombas de calor em relação às fontes tradicionais de energia térmica. A análise termoeconómica, permite determinar as condições de racionalidade de aproveitamento destas instalações nos vários ramos da indústria e vida doméstica. São apresentados exemplos oportunos de introdução.*

Palavras-chave: Bomba de calor, Análise termoeconómica, Competitividade, Racionalidade de introdução

1. PROBLEMAS DE DESENVOLVIMENTO.

Os sistemas de abastecimento de calor são os maiores consumidores dos recursos energéticos, sobreexcedendo quase por duas vezes o consumo do combustível do segundo consumidor que são as usinas termoeléctricas. Ao mesmo tempo neste ramo da técnica ainda amplamente difundidos são as instalações de baixa eficácia, tais como pequenas caldeiras, termogeradores individuais, estufas etc. O princípio da queima do combustível com objectivo de obter o calor de potencial baixo é energeticamente desperdiçado, pois aqui perde-se aquela parte da exergia de combustível que poderia ser usada na produção combinada da energia térmica e mecânica.

A produção de calor e energia eléctrica no ciclo de cogeração com alta eficácia é economicamente justificada nos casos da existência de grandes consumidores de energia térmica. Além disso o transporte da energia térmica é restrito a distâncias de cerca de 30km. Por isso no mundo continua a se queimar enormes quantidades de combustível orgânico pela tecnologia de produção de calor, de "desperdício". energético

Neste contexto, a produção de energia térmica de potencial baixo nas instalações das bombas de calor considera-se hoje como uma alternativa avançada de sistemas descentralizados de abastecimento de calor. Nos países industrializados fabricam-se em série instalações das bombas de calor (IBC) com potência que varia desde algumas unidades kW até dezenas de MW que se usam como fontes de calor em diferentes ramos da indústria e na vida doméstica. O número das instalações das bombas de calor que estão em exploração nos países europeus é de mais de 800 mil, nos Estados Unidos cerca de 6 milhões e no Japão quase 8 milhões.

É sabido, que as bombas de calor são instalações onde no ciclo termodinâmico inverso a energia é retirada de fonte de calor, de temperatura baixa e é transmitida ao nível das temperaturas mais altas á_custa de adução de energia externa. Segundo o mesmo ciclo termodinâmico inverso funcionam também as máquinas frigoríficas, mas nas bombas de calor o nível das temperaturas de trabalho é mais alto e as condições de operação dos compressores mais difíceis. No entanto isso não é nenhum impedimento á aplicação dos elementos principais de máquinas frigoríficas na fabricação das bombas de calor. As bombas de calor têm a sua origem na técnica frigorífica e apresentam um exemplo oportuno de cruzamento da técnica de baixas temperaturas e Termoenergética.

A ideia de aplicar as máquinas frigoríficas de ar para aquecimento e, em particular, para a calefação dos edifícios foi pronunciada por um dos fundadores da Termodinâmica Y. Tomsson (Lord Kelvin) em 1852, mas para a sua realização prática foram necessário quase 80 anos.

O físico V.A. Michelsson (1920) publicou o projecto de calefação dinâmica de edifícios com ajuda das bombas de calor do tipo de compressão de vapor usando como fonte fria água subterrânea. Aqui também foram indicadas razões que frenaram o desenvolvimento da ideia de Lord Kelvin, das quais se destaca: preços baratos do combustível nos países industrializados naquela altura, complexidade de fabricação e preços altos do equipamento mecânico, dificuldades com procura nos países com clima frio das fontes de energia de potencial baixo com capacidade suficiente para aplicação nas bombas de calor.

A crise energética surgida no mundo nos anos trigesimos de século XX alterou a situação em favor da aplicação das bombas de calor. O período de 1927 até 1946 caracteriza-se pela criação uma série de instalações de bombas de calor em diferentes países do mundo, mas como regra, as instalações foram sendo experimentais tiveram baixa eficácia.

Como exemplo oportuno de instalação duma bomba de calor fabricada com base numa máquina frigorífica amoniaca com potência de 5kW pelo engenheiro Inglês J. Holdem para aquecimento da água. A Instalação foi construída com dois evaporadores com fornecimento de calor de ar do ambiente e de água da rede. Água no condensador podia ser aquecida até 45-55°C. No verão, a instalação, em simultâneo com o aquecimento de água, fabricava gelo para usos domésticos. O coeficiente de desempenho da instalação COP foi $2 \div 3$. A propósito, Holdem foi primeiro a introduzir os termos "heat pump" e "heat pump instalation".

Nos anos quarenta as instalações das bombas de calor experimentais foram fabricadas na Inglaterra, nos Estados Unidos, Japão e Itália, contudo resultados mais sensíveis foram obtidos na Suécia e Suíça, onde havia condições mais favoráveis para a sua introdução: energia eléctrica relativamente barata, produzida nas usinas hidroeléctricas e oportunas fontes de calor de potencial baixo, água subterrânea. Em 1937 na cidade de Zurique com base numa instalação de bombas de calor com potência de 80kW foi elaborado um sistema de calefação e de condicionamento dum edifício administrativo que até hoje funciona com êxito. A instalação foi projectada para cobrir carga básica de calefação. Como agente de trabalho usava-se R12, a temperatura da água no sistema de calefação aquecia-se até 60°C. No Japão apareceram as bombas de calor reversíveis que dependiam das condições climáticas e trabalhavam no esquema da bomba de calor ou no esquema do aparelho do ar condicionado.

Assim surgiram projectos da introdução das bombas de calor nos processos tecnológicos industriais.

Durante quase 25 anos depois da segunda Guerra Mundial o interesse pelas bombas de calor desceu. Nessa altura foram descobertos novas jazidas de petróleo e gás, principalmente nos países em desenvolvimento e a exportação do combustível em países industrializados foi realizada a preços baixos. Em tais condições nos anos 1963-1971 praticamente todas as investigações do ramos das bombas de calor nos países Europeias foram paralisados.

A segunda crise energética mundial surgida nos anos oitenta, criou novas condições favoráveis para segunda etapa do desenvolvimento das instalações das bombas de calor. Segundo dados de XIII Congresso Internacional da Energética (1985) a quantidade das instalações das bombas de calor aumentou bruscamente nos anos 1980-1985. Segundo Hess J. H e Moser P (1985) a potência somatória dos IBC nos países da Europa atingia valores próximos de 750 MW. O acréscimo da quantidade das instalações, reduzidas a potência térmica de 5 kW é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Dinâmica de desenvolvimento da quantidade de IBC

País	Ano 1980	Ano 1985	Perspectiva para ano 2000
Estados unidos de América	$3 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$9,5 \cdot 10^6$
Japão	$0,5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$
Europa	$0,15 \cdot 10^6$	$0,6 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
Canadá	-	$0,1 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$

Nos últimos anos do século XX cresce a potência instalada dos IBC, atingindo valores de dezenas de MW. Na Suécia em 1982 foi introduzido na exploração unidade de 12 MW e meio ano depois uma instalação de 39 MW. A firma "Stal-Laval" fabrica instalações com potência 10-13MW (em função da temperatura da fonte fria) da completa de prontidão da empresa.

Como agente de trabalho se usa freon R12, a temperatura da água é aquecida até 80°C. Equipamento é montado num recinto de 20 x 10 x 6m.

De acordo com dados da firma "Stal-Laval" aos preços actuais, na Suécia, de energia eléctrica, do combustível e do equipamento, o prazo de rentabilidade dos investimentos desta instalação é de 2 anos. Da literatura analisada este prazo é o mais curto encontrado para este tipo das instalações

Como projecto avançado considera-se uma unidade de 4 bombas de calor com potência de 25MW cada, colocados numa barca com tamanho de 100 x 25m, apresentado nos artigos da revista "Escandinávia Energy", (1986). A instalação começou a trabalhar no ano de 1986 com água do mar como agente de transmissão de calor de baixa temperatura. A temperatura desta água não pode ser menor do que de 2°C. A água de rede foi aquecida até 85°C com COP≈3,2.

O aumento da potência das instalações e melhoramento da eficácia energética foi atingida através da utilização dos compressores do tipo de parafuso e centrífugos e termopermutadores de placa, para além da existência de favoráveis fontes de baixa temperatura (água subterrânea, água de esgotos industriais, água do mar). O prazo de rentabilidade depende de preços da energia eléctrica, de combustível usado na instalação substituída e de equipamento, variando de 3 até 9 anos.

A análise termoeconomica profundo da utilização das instalações das bombas de calor nos sistemas centralizados de abastecimento de calor e optimização do funcionamento , instalações foi realizada por Pustavalov Y.V (1988).

A racionalidade da introdução de grandes instalações das bombas de calor aos sistemas de abastecimento das cidades é estipulada pela sua alta eficácia energética, ecológica e económica.

Em simultâneo no mundo funcionam e fabrica-se enormes quantidades de bombas de calor como fontes de calor dos sistemas individuais da indústria, vida doméstica e comunal.

Por exemplo, segundo "Revue generale de termique" de Bucarest (1984) na Roménia das 400 instalações que estavam em exploração apenas 5 unidades tinham potência igual ou superior a 1MW. Na Noruega segundo Lagergren (1986) das 6 mil instalações das bombas de calor com potência total 200MW só 94 têm na faixa de 1 até 14MW. Na Suécia das 130 mil instalações só 91 têm potência maior do que 1MW.

Os gastos específicos de estabelecimento destas instalações são em geral mais altos enquanto a eficácia energética, essencialmente nas instalações do tipo ar-ar é mais baixa. O prazo de rentabilidade aumenta e depende do nível das temperaturas extremas do ciclo, além dos preços da energia eléctrica, combustível e equipamento. A solução sobre a racionalidade de aproveitamento tem de ser determinado nas condições concretas na base dos cálculos da eficácia energética e análise técnico-económico.

2. EFICIÊNCIA TÉRMICA E ENERGÉTICA

Actualmente, no mundo ha preponderância das bombas de calor do tipo de compressão de vapor com accionamento dos compressores pelos motores eléctricos, cujo esquema principal é apresentada na figura 1.

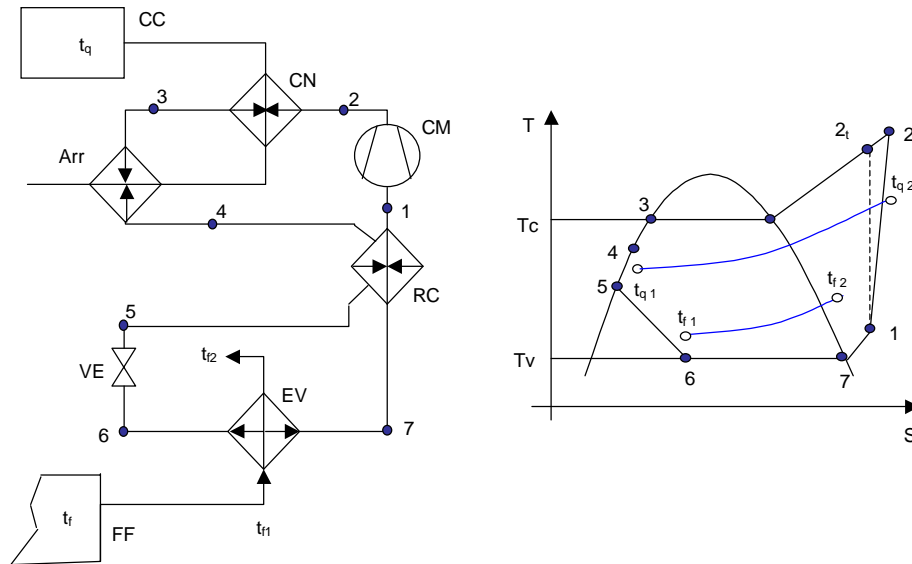


Figura1. Esquema principal, apresentação do ciclo da instalação da bomba de calor.

A eficácia térmica do ciclo avalia-se, como é sabido, pelo coeficiente de perfeição COP que desempenha um papel importante e é um índice do valor específico do calor fabricado pela unidade da energia gasta no ciclo de exterior. O valor de COP depende das temperaturas extremas do ciclo e também de valor de subarrefecimento do condensado $dt=t_3-t_4$ (fig.2), aumentando com aproximação das temperaturas de condensação e evaporação.

Assim, um dos factores principais de aproveitamento das bombas de calor é a disponibilidade de fontes frias as temperaturas e capacidades favoráveis.

O subarrefecimento do condensado do agente frigorífico aumenta a quantidade de calor fornecido no evaporador e simultaneamente aumenta o calor dirigido ao consumidor e eficácia do ciclo. Para aumento da eficácia do ciclo às vezes se usa regeneração interna.

Mas valor de COP obtido com base da primeira Lei da Termodinâmica não dá informação relativamente á perfeição da instalação

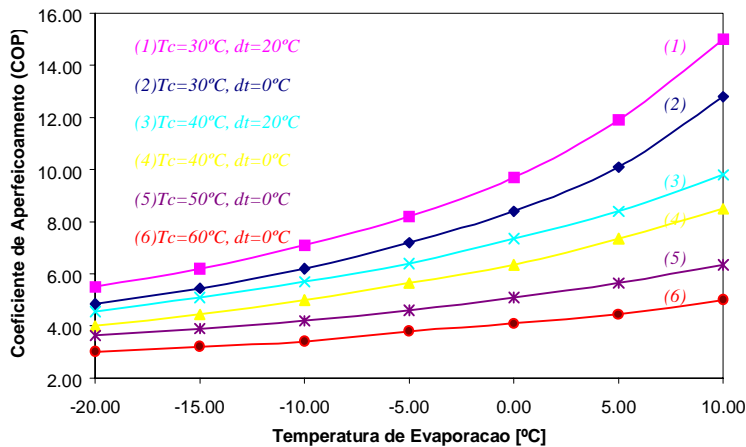


Figura 2 – Eficiência energética duma bomba de calor

Em conformidade com análise exérgica que se baseia na Segunda Lei da Termodinâmica (Brodiansky, 1973) o valor energético do calor ou a sua exergia cai com redução dos parâmetros do fluido motor ou as mesmas quantidades de calor nos diferentes níveis das temperaturas possuem diferentes quantidades da exergia.

O grau de perfeição termodinâmico da instalação da bomba de calor avalia-se pelo rendimento energético que no caso de fornecimento de calor de meio ambiente quando a energia do fluxo de calor no evaporador é igual a zero será:

$$\eta_{ex} = e_{qc} / \ell = q_c \tau_{ex} / \ell = \tau_{ex} COP \quad (1)$$

aqui e_{qc} - a exergia específica do fluxo de calor retirado de agente frigorífico no condensador.

ℓ - a energia específica fornecida de exterior,

$\tau_{ex} = (T - T_{amb}) / T$ - uma função exérgica que é igual ao rendimento térmico do ciclo de Carnot directo e determina-se pelo estado termodinâmico do sistema (T) e meio ambiente (T_{amb}).

Da expressão (1) segue o sentido termodinâmico da aplicação das bombas de calor em vez de estufas e caldeiras, onde ao consumidor dirige-se calor com valor de exergia insignificante. Por exemplo, para aquecimento da água até 55°C a temperatura média do ambiente 25°C o fluxo de calor dirigido a água consiste de 9% de exergia e 92% de anergia. Esta "mistura" obtém-se a custa da queima do combustível cuja energia química consiste quase totalmente de exergia (para carvão de pedra $e_{ex} \approx 90-93\%$, para mazute $e_{ex} = 94\%$ para gás natural $e_{ex} = 97\%$) não é razoável. Da comparação da eficácia térmica (tabela 2) e exérgica das diferentes fontes de abastecimento de calor segue que a utilização das caldeiras eléctricas

para aquecimento é menos razoável $\eta_{ex}^{GV}=6\%$ em comparação com caldeiras $\eta_{ex}^{GV}=0,13$ e instalações das bombas de calor $\eta_{ex}^{IBC}=0,23$. Os resultados obtidos concordam com os cálculos de Bailey (1987)

Tabela 2: Índices da eficácia de diferentes fontes de abastecimento de calor

Fonte de Abastecimento de Calor	Rendimento o térmico η^{GV}	Rendimento o energético η_{ex}	Coeficiente de energia-nett kN	Coeficiente de energia-netta kN ^{ex}	Gastos específicos reduzidos da exergia z_{ex}
Caldeira com queima de mazute	0,45-0,7	0,11	4,6	0,71	10,5
Caldeira com queima do gás	0,6-0,85	0,13	2,5	0,39	10,3
Aquecimento da água pela energia eléctrica	0,35	0,065	3,4	0,53	17,3
Instalação da bomba de calor com utilização da energia eléctrica de CTE com queima de carvão COP = 2-4,5	0,75-1,7	0,23	2-4	0,31-0,62	6-7,5

Desta análise segue que só usando as bombas de calor é razoável produzir calor ou do potencial baixo.

A condição de eficácia energética das instalações das bombas de calor em comparação com as caldeiras de combustível orgânico é a desigualdade.

$$\eta_{ex}^{IBC} > \frac{\eta_{GV} \cdot \tau_{ex}}{\eta_{CTE} \cdot \eta_{tr-el}} \cdot \frac{Q_i^{tr}}{e_{comb}} \cdot \frac{l}{l + e_{exv}} \quad (2)$$

Admitindo rendimentos das caldeiras, da central termoeléctrica e de transporte de energia eléctrica respectivamente $\eta_{GV} = 0,85$; $\eta_{CTE} = 0,38$; $\eta_{tr-el} = 0,92$ e desprezando valor da energia do combustível obtém-se

$$\eta_{ex}^{IBC} > \eta_{GV} \cdot \frac{\tau_{ex}}{\eta_{CTE} \cdot \eta_{tr-ee}} \quad (3)$$

Daqui segue que a aplicação das IBC é mais vantajosa do que a caldeiras no caso $\eta_{ex}^{IBC} > 0,44$. Este valor corresponde a valores de COP = 2,43 - 2,5.

O rendimento de qualquer espécie, incluindo rendimento exergético, exprime a eficácia da instalação pelos valores da energia (ou exergia) fornecida e rejeitada.

Um outro índice da eficácia que se chama coeficiente de "energia-netta" K_N determina-se como razão da quantidade de energia extraída da instalação durante exploração W_{ut} e a somas das despesas de energia para fabricação W_f , gastos da energia da extracção transporte e transformação da energia primária $W_{e.p.}$ durante o tempo de serviço da instalação

$$K_N = \frac{W_{ut}}{W_f + W_{e.p}} \quad (4)$$

Em termos da exergia o coeficiente de exergia-netta K_N^{ex} avaliam-se pela mesma expressão (4) substituindo índices energéticos pelo índices exergeticos.

A grandeza;

$$Z_{ex} = \frac{1}{K^{ex}} + \frac{1}{\eta^{ex}} \quad (5)$$

tem o sentido dos gastos da exergia, relacionados com a exergia reduzida rejeitada que é análoga ás despesas específicas reduzidas nos cálculos técnico-económicos. O primeiro membro da (5) são as despesas de estabelecimento e o segundo as correntes.

O valor Z_{ex} pode desempenhar o papel de índice novo, universal da eficácia que permite fazer optimização dos parâmetros sem utilização dos critérios de preço.

Evidentemente que elevação da perfeição Termodinâmica conduz a diminuição do segundo membro da equação (5), mas ao mesmo tempo cresce, regra geral, o primeiro membro, pois se usa equipamento mais avançado e mais caro. Os valores resultados alguns cálculos referidos são apresentados na Tabela2 e a análise mais profundo é realizada por Chirkin (1999) no relatório do I congresso de Engenharia Luso-moçambicano.

A economia de combustível na produção de calor nas bombas de calor e qualquer fonte alternativo pode ser avaliado de expressão:

$$\Delta B = B_{alt} \left(1 - \frac{K_N^{alt}}{K_N^{IBC}} \right) \quad (6)$$

onde B_{alt} - consumo de combustível no modo alternativo de produção da mesma quantidade de calor que na IBC.

K_N^{alt} e K_N^{IBC} - respectivamente coeficientes da energia-netta de calor produção de modo alternativo e das bombas de calor. No caso de accionamento do compressor da bomba de calor a custa da energia eléctrica com preço de 1kwh pelo ξ_{e1} e utilização do combustível

orgânico na fonte alternativo com preço recalculado pela sua capacidade calorífica ξ_{comb} . a economia exprime-se como

$$\Delta C = C_{alt} \left(1 - \frac{\xi_{el}}{\xi_{comb}} \cdot \frac{K_N^{alt}}{COP} \right) \quad (7)$$

aqui C_{alt} - despesas dos recursos financeiros para energia produzida na fonte alternativa
A economia será possível no caso de

$$\frac{\xi_{el}}{\xi_{comb}} \cdot \frac{K_{alt}}{COP} < 1 \quad (8)$$

A satisfação desta condição depende antes de mais nada de valores da razão de preços da energia eléctrica e do combustível orgânico usado.

A experiência mundial mostra que o prazo de rentabilidade 2-3,5 anos favorável para bombas de calor pode ser assegurado no caso

$$\xi_{el}/\xi_{comb} < 2,5 \quad (9)$$

Este factor nos países industriais é de 1,3 na Suécia, 2,2 na Alemanha; 2,4 no Japão; 2,5 nos Estados Unidos de América.

Com redução dos preços da produção de energia eléctrica e crescimento dos preços de combustível criam-se as condições favoráveis da introdução das instalações das bombas de calor como fontes de energia térmica alternativas.

Nos países onde razão (9) é maior do que 2,5 o prazo de rentabilidade da introdução de IBC aumenta, atingindo para $\xi_{el}/\xi_{com} = 8 - 10$ respectivamente 15-20 anos. Neste caso racionalidade de aplicação das bombas de calor avalia-se individualmente para cada projecto.

4. EXEMPLOS DA INTRODUÇÃO

A experiência mundial mostra que a introdução das instalações das bombas de calor nos diferentes ramos da indústria propicia a solução simultânea dos problemas energéticos, económicas e ecológicas.

O crescimento das cidades e centros industriais, concentração do consumo da energia e, como consequência, surgimento de grandes extracções de energia de potencial baixo que pode ser energeticamente aproveitados só usando bombas de calor, provoca aumento da potência das IBC que reduzem investimentos específicos elevando a sua competitividade. Os exemplos da

introdução de IBC nos sistemas de abastecimento de calor e literatura dedicada a tais instalações foram apresentados no paragrafo 1 deste artigo.

Exemplo oportuno é também a aplicação das bombas de calor para aquecimento da água para piscinas. Na Alemanha e Suécia, Áustria e Grã-Bretanha, EUA e Japão funcionam inumeráveis piscinas equipados com IBC com valores de COP = 6-7 atingidos graças a relativa pequena diferença das temperaturas da água aquecida e fonte de calor fria. Outro exemplo significativo é aproveitamento das bombas de calor nas instalações de secagem por convecção (Boronenko, 1971; Stadjá, 1990; Chirkin 1994).

Em conformidade com Stadjá P. (1990) nos anos setenta na França foram vendidos cerca de 3000 instalações de secagem da madeira com base nas bombas de calor com volume da câmara da secadeira de 20m³. O agente frigorífica R22 permitia obter temperaturas de secagem 40-45°C, agente R12 já até 50-65 transição ao agente frigorífico de R142b permite atingir temperaturas até 70-75°C. Apesar de que a nível das temperaturas relativamente baixo em comparação com instalações de secagem tradicionais com estufas de chama, e tempo de secagem pouco prolongado a realização de regime suave com ar desumidificado permite essencialmente melhorar a qualidade da madeira serrada.

No Canada, no Estado de Orizomia cerca de 40% das instalações de secagem da madeira utilizam mesmo princípio de aquecimento do agente de secagem que permite poupar até 60% da energia.

Na instalação de secagem de cereais elaborado e testado por Boranenko, (1971), como agente de trabalho da bomba de calor foi usado R142b, a temperatura na câmara de secagem manteve-se no nível de 65-67°C. Usando simultaneamente o ar que passava através de evaporador, para arrefecimento do produto seco, permitia reduzir a actividade de microorganismos, prolongava duração de conservação dos cereais reduzindo as suas perdas, além de poupança de combustível.

A instalação de secagem para os produtos de alimentação, frutos e vegetais, plantas para farmácia, peças e artigos cerâmicas foi realizado pelo autor (1994). A instalação da bomba de calor foi fabricada com base no compressor CAJ9513T "L'unite Hermetique" França. Agente frigorífico R22, a temperatura máxima na câmara de secagem sem reaquecimento foi 43-48°C. A utilização do ar húmido que sai da câmara de secagem como fonte fria da bomba de calor permitiu reduzir por 2-4 vezes os gastos da energia para vaporização de 1kg da água de corpo húmido.

É possível dar mais exemplos da introdução das bombas de calor aos processos de secagem realizados nos EUA, Japão, Alemanha, Geórgica, França, Itália e outros países do mundo. Apesar de algumas particularidades na construção, características técnicas, todos os processos de secagem caracterizam-se por:

- Vantagens económicas, relacionados com a redução do consumo da energia e poupança do combustível orgânico caro;

- Vantagens tecnológicas relacionados com utilização do ar quente e desumidificado como agente de secagem independentemente de condições de ambiente;
- Melhoramento da quantidade do produto a secar evitando completamente influência dos produtos tóxicos de combustão e realização dos regimes de secagem suáveis.
- Simplicidade de construção, facilidade de manutenção, possibilidade automatização completa, instalações compactas
- Mobilidade e segurança de serviço por causa da ausência da queima de combustível.

Assim, a introdução das bombas de calor como fontes da energia térmica significa um aproveitamento da tecnologia nova e avançada nos processos de produção de calor e tem grande perspectiva na Termoenergética.

Referências

- Bailey, R.A., 1987, Estudo da eficácia dos sistemas de abastecimento de calor, Energia, vol.6, n.10, pp. 983-997
- Boronenko, I.A., Gubarev, V.F., 1971, Unidade de secagem e de Frio, Obras Científicas de Academia de Agrícola da Ucrânia, vol. 48, p.p. 62-65
- Brodianssey, V.M., 1973, Método energético da análise termodinâmica, Energia, Moscovo.
- Chirkin, M.B, 1999, Racionalidade de aproveitamento da energia térmica das fontes energéticas não tradicional, Iº- Congresso Luso-Moçambicano da Engenharia, Maputo, vol. 2, P.P. E77-E86
- Chirkin, M.B., Solovei, V.V., 1994, Problemas e experiência de aproveitamento das bombas de calor nos processos Tecnológicos de secagem, simpósio Internacional Moos fontes da energia e síntese nuclear frio, Minsk, vol.1.P.37-41
- Hess, J. H., Moser, P., 1981 Large centrifugal heat pumps, integrant into energy systems and economic aspects, 2nd international symposium, Jorac, England.
- Michelsson, V. et., 1920, Coleção das obras científicas, Academia das ciências URSS, vol.4, Moscovo
- Pustavalov, Y.B., 1988, Aplicação das bombas de calor, Informenergo, Moscovo, N7
- Stadja, P., Blaise, J.C., 1990, Le sechage du bois por pompe a chaler, Revista da ordem dos engenheiros vol.41, N24, Paris.
- Systems and components for large heat pumps, 1985, Proceedings Meeting Commission, E2, Trondheim.
- The largest in the world, 1986, Scandinavia Energy, N1, p.27-35
- The world is largest heat pump plant, 1982, ASEAJ, vol.55,N3.

Abstract. The use of heat pumps as an alternative heat source is discussed in this paper. Based upon the concept of the primary energy utilisation a competitiveness analysis of heat pumps installations compared to traditional sources of thermal energy is performed. A technical and economical analysis allow to determine rational conditions for the use of heat pumps installations in various industrial and household applications. Relevant application examples are given.

Key word: *Heat pump, Thermal-economical analysis, Competitiveness, Rational application*