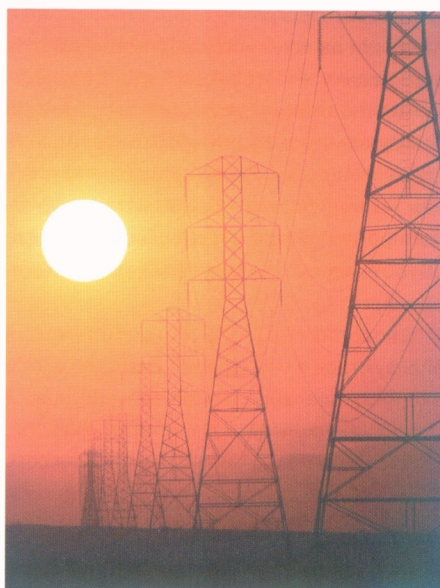


Енергозбереження при вироб- ництві та споживанні холоду

Енергозбереження – це, насамперед, вирішення економічних задач: стабільності окремо взятого підприємства й конкурентоспроможності його продукції на світовому та вітчизняному ринках



Необхідність раціонального використання та економії енергоресурсів обумовлена не тільки їх обмеженими запасами й екологічними проблемами. Збільшення споживання енергетичних ресурсів і загальносвітова проблема забруднення навколишнього середовища неминуче призведуть до ситуації, коли держава чи світове співтовариство будуть змушені вдаватися до економічних санкцій – норму-

вання кількості електроенергії в собівартості одиниці кінцевого продукту. Це істотно позначиться на економічній ситуації в Україні, оскільки питомі витрати електроенергії на одиницю продукції практично будь-якого вітчизняного підприємства значно перевищують відповідні галузеві показники розвинутих країн.

Актуальність енергозбереження беззаперечна. Але вважається, що в умовах рин-

кової економіки зниження питомої енергоємності виробничих процесів буде відбуватися природним шляхом, визначатися фінансовими законами. При цьому на шляху до раціонального використання енергії безліч перешкод: брак фінансових ресурсів, тривалий строк окупності інвестицій в енергозбереження, відсутність дієвих засобів покарання за нерозумне використання електроенергії та завдану навколишньому середовищу шкоду, недостатній рівень професійної підготовки фахівців і багато чого іншого.

Держава і суспільство повинні створити цілісну адміністративну систему енергозбереження, яка змушувала б громадян, незалежно від рівня освіти і професії, у будь-яких умовах і завжди діяти в напрямку зниження споживання електроенергії. Простіше кажучи – потрібні стимули та засоби! Але сьогодні більшість керівників і фахівців підприємств упевнено заявлять, що в них недостатньо реальних стимулів і практично немає ресурсів для втілення в життя політики енергозбереження. Дійсно, ніхто особисто не зацікавлений в економії електроенергії. Генеруючим організаціям вигідно багато виробляти, тому що електроенергія – товар, що користується попи-

том; споживач згоден багато використовувати – це високотехнологічний рівень виробництва і комфорт; енергопостачальним організаціям важливо багато продавати – це їхній бізнес; а продавців холодильного обладнання, проектувальників, монтажників і навіть інвесторів не цікавлять майбутні економічні проблеми споживача електроенергії. При цьому держава також зацікавлена в чималих обсягах виробництва електроенергії, адже енергетичний сектор – одне з основних джерел поповнення бюджету. Правда, ця теза справедлива тільки за умови, що споживач своєчасно сплачує за енергетичні послуги. Відсутність реальних стимулів до енергозбереження на тлі стереотипів ставлення до "безкоштовної" енергії, що склалися в громадян України, а також недостатня професійна підготовка фахівців фактично паралізували величезний потенціал методів і засобів боротьби з втратами енергії, її нерациональним використанням.

Лише адміністративними важелями управління не можна вирішити глобальні задачі енергозбереження. На початковому етапі такий підхід дійсно забезпечить вагому частку зниження питомого та загального енергоспоживання, але не зможе замінити роз'яснювальну та просвітницьку роботу, підготовку та навчання фахівців, у тому числі з енергетичного менеджменту й аудиту, виховання усвідомленого споживання енергоресурсів у кожного громадянина.

Енергозбереження – частина державної політики. Безперечно, що її інтереси обмежуються великими проектами і програмами, спрямованими на одержання значних у державному масштабі результатів. До таких програм обов'язково будуть віднесені програми енергозбереження в області виробництва і споживання штучного холоду. Адже не секрет, що в розвинутих країнах виробники холоду споживають до 20% електроенергії, що продається. Немає прогнозу таких даних стосовно економіки нашої держави, але тисячі промислових аміачних холодильних установок (АХУ) експлуатуються в різних галузях господарства і практично безальтернативні на підприємствах з переробки та зберігання сільськогосподарської сировини, виробництва харчових продуктів, у хімічній і металургійній галузях промисловості. У найближчому майбутньому область застосування й обсяги використання штучного холоду будуть тільки розширю-

ватися. Це обумовлене зростаючими вимогами до якості продукції й інтенсифікації процесів термообробки, поширенням використання систем кондиціонування повітря тощо. Отже, надалі енерговитрати на роботу холодильних систем будуть збільшуватися, а задачі енергозбереження стануть ще актуальнішими. Навіть незначне підвищення ефективності виробництва і споживання штучного холоду може зробити вагомий внесок у виконання державної програми енергозбереження, привести до помітного скорочення обсягів споживання електроенергії. За результатами численних досліджень і прямих вимірювань потенціал енергозбереження існуючих промислових холодильних систем на переробних підприємствах харчової промисловості в середньому складає 50÷60% від загального споживання електроенергії.

Сьогодні задачі енергозбереження вирішуються в усіх сферах життєдіяльності людини, але холодильне обладнання й промислові холодильні системи, на жаль, майже скрізь не охоплені цим процесом. Чому так відбувається, коли для будь-якої холодильної системи існує можливість зниження питомого споживання електроенергії на одиницю холоду? Одна з версій відповіді на це запитання – надійність систем холодопостачання (як би абсурдно це не звучало для холодильщика), відсутність систем контролю (нормування) та обліку споживання енергоресурсів, недостатнє розуміння принципів роботи холодильних систем і виробництва штучного холоду. Дійсно, затвердилося переконання: «Якщо холодильна установка забезпечує необхідну холодопродуктивність (кількість холоду) на заданому температурному рівні, значить, з нею усе гаразд». Багато споживачів і не підозрюють про потенціал енергозбереження, а отже, й не шукають шляхів його реалізації. **Таким чином, енергоємність одиниці холоду (або характеристики, з нею пов'язані) належним чином не контролюється ні під час прийняття технічних рішень на етапі проектування й експертизи, ні на етапі обладнання та здачі в експлуатацію холодильних систем, ні протягом усього терміну їх експлуатації**, який, як правило, більше, ніж розрахунковий ресурс роботи. Контроль витрати палива автомобіля, дійсно, значно простіший і вважається обов'язковим, але чому ми робимо виня-

ток у цьому відношенні для промислового холодильного обладнання? Тим більше, що в багатьох галузях економіки уже здійснюється сертифікація товарів та обладнання, що випускаються, за рівнем енергоспоживання, упроваджується система енергетичного маркування побутової холодильної техніки та систем кондиціонування повітря. І останнє, розуміння принципів одержання штучного холоду для фахівців загальнотехнічного і навіть енергетичного профілю найменш доступне, як через складність процесів, так і через достатню надійність холодильних систем, можливість їх обладнання «під ключ», а отже, і відсутність необхідності самого розуміння. Чи розумно покладатися на постачальників та підрядників, коли їхньою головною метою є виконання плану продажу обладнання своєї фірми, а не вишукування та дослідження на користь енергозбереження, за які замовник сьогодні не готовий платити?!

Наукові публікації з питань раціонального енергоспоживання й економії енергії при експлуатації АХУ та визначення їхньої ефективності розрізнені, дуже часто використовують різні критерії оцінки, носять упереджений чи орієнтований характер, оперують зведеними витратами при співвідношенні і вартості статей експлуатаційних витрат на початок 80-х років. При цьому опубліковані результати досліджень у цій області наукомістки, чим відштовхують інженерно-технічних працівників. Проблема й у тім, що енергетичні характеристики холодильної установки змінюються і зі змінами в технологічному процесі споживання штучного холоду, і зі змінами погодних умов. Таким чином, в ідеалі базові критерії оцінки ефективності роботи холодильної системи необхідно розраховувати щоразу, коли відбуваються такі зміни і коли необхідно перевірити рівень ефективності обладнання. З урахуванням темпів розвитку комп'ютерної і процесорної техніки такі задачі зможуть розв'язуватися вже в найближчому майбутньому.

Не можна стверджувати, що і критерії оцінки ефективності виробництва та використання холоду сьогодні визначені досить чітко і зрозуміло для простого фахівця. Наприклад, традиційно основними показниками ефективності холодильної установки є: холодопродуктивність на заданому температурному рівні, холодильний коефіцієнт, коефіцієнт термотрансформації

(COP), які у свою чергу залежать від режимів роботи систем. В економічних розрахунках використовують ще й величину, обернену холодильному коефіцієнту ($S = 1/\varepsilon$). Класичні критерії однозначно допомагають визначитися з вибором компресорного обладнання, циклом парокомпресійної холодильної установки та її принциповим схемним рішенням, але ніяк не можуть допомогти розв'язати задачу оцінки ефективності всієї холодильної установки (системи), точніше, ефективності і виробництва, і використання штучного холоду. Адже не можна забувати, що компресор у холодильній системі іноді споживає не більше 40% електроенергії від загальних її витрат. Значна частина енергії йде на забезпечення роботи допоміжного (стосовно компресора) обладнання, використовується для транспортування холоду до кінцевого споживача, на те, щоб забезпечити інтенсивність відбирання теплоти від об'єкта охолодження і скидання тепла конденсації в навколишнє середовище. Ази освіти, закладені під час вивчення курсів класичної термодинаміки і холодильних машин, плюс тендерні обдурювання продавцями холодильного обладнання за допомогою типових програм підбору компресорів із демонстрацією можливості одержання високих значень COP дуже часто призводять до вибору не найоптимальніших з енергетичної точки зору рішень. Тому найбільш інформативним показником енергетичної ефективності холодильної установки, як і раніше, є питома витрата електроенергії – кількість кВт·год електроенергії, необхідної для виробництва одиниці (1000 кДж·год чи тис. ккал) холоду. Згідно з діючою нормативною документацією цей показник навіть нормується і називається технологічною нормою споживання електроенергії. Використовуючи цей показник, легко порівнювати за енергетичною ефективністю холодильні системи й установки на конкретному температурному рівні виробництва холоду. Але і цей критерій не позбавлений недоліків, тому що не дозволяє оцінити рівень досконалості використання штучного холоду. Правда, для цього існує відомча нормативна документація, що визначає гранично припустиму кількість холоду на одиницю продукції (наказ № 305 ММіМП СРСР від 20.09.85 «Про затвердження норм витрат холоду при виробництві та зберіганні молока і молочних продуктів», наказ № 134

ММіМП СРСР від 15.03.72 «Про затвердження норм витрат холоду при виробництві та зберіганні м'яса і м'ясопродуктів»). Але мало хто з фахівців пам'ятає про ці норми, тим більше використовує їх у повсякденній роботі, та й норми не завжди охоплюють сучасні технології виробничих процесів. Тому контролюючі державні служби для оцінки рівня експлуатації холодильних установок змушують підприємства розробляти і використовувати індивідуальні технологічні норми (H_T) витрати електроенергії на виробництво одиниці продукції (кВт·год електроенергії/одиниця продукції). Їх визначають розрахунково-аналітичним способом для кожного споживача (виду продукції) окремо, підсумовуючи обсяги витрат електроенергії холодильним обладнанням з урахуванням різних нормованих витрат.

$$H_L = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \tau_i}{G},$$

де N_i – сумарна розрахункова потужність, споживана електродвигунами холодильної установки на заданому температурному режимі, кВт;

τ_i – тривалість роботи обладнання протягом звітного періоду, год;

G – кількість виробленої продукції протягом звітного періоду, од. вим.

Звичайно, під "прес" потрапили тільки великі, життєстійкі підприємства, але процес адміністративного контролю буде тільки посилюватися. Привід для цього є, оскільки за дослідними та звітними даними витрати електроенергії на одиницю продукції однотипних підприємств іноді відрізняються в два і більше рази.

Ефективність технологічного холодильного обладнання прийнято також оцінювати коефіцієнтом енергетичної досконалості:

$$\eta_E = \frac{H_n}{H_T} < 1,$$

де H_n – кількість електроенергії, необхідної для зниження температури продукту від початкового до кінцевого значення, кВт·год/т;

H_T – технологічна норма споживання електроенергії апаратом, кВт·год/т.

Наприклад, для плиткових морозильних апаратів без урахування підтавання продуктів при вивантаженні $\eta_E = 0,75 \div 0,8$, для морозильних апаратів із заморожуванням у повітряному середовищі $\eta_E = 0,4 \div 0,5$.

Питання про правильність оцінки енергетичної ефективності холодильних уста-

новок поки залишається відкритим. Тому керівництво і фахівці підприємств, розглядаючи задачі зниження енергоспоживання АХУ, звичайно відчують недолік інформації для вибору шляхів їх розв'язання. Адаже і нормування, і раціональне використання, й економія енергоресурсів у кожному окремому випадку вимагають серйозного інженерного й економічного підходу до проблеми; урахування особливостей схемного рішення холодильної системи і встановленого обладнання; розуміння технологічних процесів, що використовують холод; виконання технічних і економічних розрахунків. А на це потрібні час, методичні вказівки, чітко визначена законодавча база, висока професійна підготовка фахівців або доступність платних послуг спеціалізованих організацій.

Підвищення ефективності виробництва штучного холоду може здійснюватися як шляхом поліпшення конструкцій окремих елементів АХУ і розробки більш досконалих процесів, що відбуваються у цих елементах, так і за рахунок вибору та забезпечення раціональних режимів експлуатації. Окремою позицією може виступати "підтримування технічного стану систем на належному рівні", але багато фахівців поєднують цю проблему з експлуатаційними факторами, що визначають раціональне споживання електроенергії. Отже, питома витрата електроенергії для виробництва штучного холоду визначається безліччю взаємопов'язаних факторів. Їх можна розділити на залежні від прийнятих проектних рішень (типів холодильників та ізоляційних конструкцій, термодинамічного циклу та схемного рішення, ефективності холодильного обладнання та систем охолодження, технологічних виробничих процесів споживання холоду) і від рівня експлуатації АХУ. Якщо говорити про енергетичну ефективність АХУ в цілому, то необхідно також розглядати рівень утилізації тепла конденсації, використання природного холоду, нетрадиційних (відновлюваних) видів енергії, малоенергоємних технологічних процесів тощо. В ідеалі витрату енергії необхідно оцінювати більш критично, починаючи з енергоспоживання на стадії створення та виробництва обладнання і систем і закінчуючи моментом вичерпання їхнього ресурсу з урахуванням витрат на утилізацію. Однак це задача завтрашнього дня, а сьогодні не менш важлива зада-

ча аналізу енергоспоживання існуючих холодильних установок, вибору правильних шляхів їх реконструкції та модернізації. Адаже, незважаючи на те, що енергоємність одиниці холоду багато в чому визначається конструкцією і технічними рішеннями на стадії проектування та монтажу, можна істотно поліпшити енергетичні характеристики роботи існуючих холодильних систем.

Наведений далі матеріал не претендує на абсолютну новизну. Це лише спроба систематизації й узагальнення результатів власних обстежень охолоджувальних систем виробничих холодильників, досвіду проектування і накопиченого матеріалу про енергозбереження при експлуатації АХУ. Аналіз можливих причин перевитрат електроенергії, рекомендації з енергозбереження при експлуатації АХУ та використанні холоду розраховані на інженерно-технічний персонал, що займається проектуванням і експлуатацією АХУ, енергетичним аудитом і менеджментом. **Це матеріал про те, як можна зберегти електроенергію і як потрібно це робити.**

Вплив експлуатаційних факторів на енергоємність холоду

Перевитрата електроенергії можлива як при виробництві холоду (за рахунок відхилень від «оптимальних» режимів експлуатації АХУ для конкретних умов), так і при його споживанні (наприклад, за рахунок збільшених витрат холоду через неефективну ізоляцію огороджувальних конструкцій чи трубопроводів, відкриті дверні прорізи камер та ін.). Та коли мова йде про вплив експлуатаційних факторів, звичайно обговорюють ті з них, які визначають питома енергоспоживання при виробництві одиниці холоду на заданому температурному рівні. А коли мова йде про втрати холоду, то мається на увазі додаткова витрата електроенергії на одиницю кінцевого продукту виробництва, або ж загальне споживання електроенергії виробничим процесом, що визначається і втратами холоду, і кількістю додаткового часу роботи холодильної системи. Невдалі технічні рішення, прийняті на стадії проектування, також обумовлюють збільшення як питомого споживання електроенергії на одиницю холоду, так і загальних витрат на виробничий процес.

Прийнято вважати, що найбільш значна частка витрат (нераціонального споживання) електроенергії припадає саме на процес

виробництва холоду, а не на його споживання, хоча для багатьох технологічних процесів це не так. Тут доречно відзначити, що знизити обсяги електроенергії, споживаної холодильною установкою, неможливо, якщо всі експлуатаційні показники АХУ відповідають раціональним для конкретно визначених умов, а режим роботи і стан усіх теплообмінників установки не викликають збільшеного перепаду температур середовищ, що обмінюються теплом. Тому, коли мова йде про економію електроенергії при експлуатації конкретної холодильної системи (виробництві визначеної кількості холоду на заданому температурному рівні для кінцевого споживача), мається на увазі зменшення впливу всіх шкідливих факторів, що погіршують ефективність її роботи і збільшують питома енергоспоживання, а також зниження втрат холоду.

Теоретичні причини нераціонального використання електроенергії можна згрупувати за трьома показниками:

- коефіцієнт корисної дії компресора;
- «температурна вилка», тобто різниця між температурами конденсації та кипіння холодильного агенту;
- термодинамічний цикл, за яким працює холодильна система.

Проведений аналіз результатів розрахунків технологічної норми споживання електроенергії згідно з вимогами нормативно-технічної документації та даними вимірювань фактичного енергоспоживання для АХУ ряду типових м'ясокомбінатів і молокопереробних підприємств свідчить про істотний негативний вплив простих і очевидних експлуатаційних факторів на температури конденсації та кипіння холодильного агенту. У результаті збільшується відношення P_k/P_o і, як наслідок, на роботу компресорів буде витрачено більше електроенергії, зменшується коефіцієнт подачі компресора, збільшуються дросельні втрати, підвищується температура перед регулювальним вентиляем, знижується об'ємна холодопродуктивність холодильного агенту тощо. Не можна також забувати про те, що мінімум потужності, споживаної компресором, відповідає співвідношенню P_k/P_o , що дорівнює приблизно трьом.

Досвід обстежень промислових АХУ дозволяє стверджувати, що ефективно працююча холодильна система – велика рідкість. І причина цього – недостатнє розуміння впливу основних експлуатаційних факторів на робочі характеристики устано-

вок, оптимальні для конкретних умов значення тиску конденсації та кипіння холодильного агенту. Призначення холодильної установки полягає в тому, щоб поглинати теплову енергію на низькому температурному рівні і відводити цю ж енергію при більш високому. Для цього необхідно виконувати роботу. Чим більша різниця температур, тим більша виконується робота. Тому як при проектуванні, так і при експлуатації холодильних установок необхідно намагатися забезпечити мінімальну «температурну вилку». А відсутність зацікавленості в енергозбереженні проектувальника і неправильні дії або просто бездіяльність обслуговуючого персоналу найчастіше не вирішують цієї задачі, а отже, визначають нераціональне споживання енергії у великих обсягах. Немає ніяких сумнівів у тому, що достатній професіоналізм і відповідальність обслуговуючого персоналу, а можливо, і заходи з його стимулювання можуть визначити високу ефективність і виробництва, і споживання штучного холо-

ду. Тим більше, що для цього є всі економічні стимули.

Автори багатьох підручників з холодильної техніки відзначають, що зміна температури кипіння на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в середньому призводить до зміни холодопродуктивності на $4\div 5\%$, споживаної потужності – на 2% , питомої витрати електроенергії – на $2\div 3\%$, а збільшення температури конденсації на $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ призводить до зниження холодопродуктивності на $1\div 2\%$, збільшення споживаної потужності – на $1\div 1,5\%$, зростання питомої витрати електроенергії – на $2\div 2,5\%$. Звичайно, такий рівень інформації, що переходить з підручника в підручник, без зазначення робочої речовини, температурного рівня отримання холоду, схемного рішення холодильної установки та його апаратного забезпечення може розглядатися тільки як характеристика якісного впливу на енергоємність холоду тих або інших експлуатаційних факторів. Але розрахунки теоретичного циклу найпростішої одноступеневої аміачної холодильної машини підтверджу-

ють важливість правильного вибору режимів роботи і необхідність їх забезпечення. Так, наприклад, для компенсації теплового навантаження у 100 кВт на різних температурних рівнях кожне зниження температури кипіння холодильного агенту на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в середньому призводить до збільшення споживаної ефективної потужності компресора на $3,5\%$ (для циклу $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_k = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $N_E = 18,27\text{ кВт}$, а для циклу $t_0 = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_k = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $N_E = 37,8\text{ кВт}$). Підвищення тиску конденсації також обумовлює істотне збільшення необхідної ефективної потужності компресора. Наприклад, при $t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тепловому навантаженні 100 кВт для $t_k = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $N_E = 27,94\text{ кВт}$, а для $t_k = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $N_E = 36,2\text{ кВт}$ (на кожен градус підвищення температури конденсації – відповідне збільшення ефективної потужності компресора приблизно на $2,5\%$).

Ю. О. Желіба, к. т. н., доц. ОДАХ

