

УДК 621.527:621.576

Юрченко І.І., магістр, керівник Прокопенко В.В., к.т.н. проф.

### Національний технічний університет України «КПІ»

#### Ефективність роботи холодильних установок при змінних навантаженнях

*Доповідь присвячена розробленню науково-технічних основ підвищення ефективності та екологічної безпеки холодильних установок підтримання оптимальних рівнів напруги, що забезпечує мінімальну витрату електроенергії.*

*Зменшення напруги живлення однофазного двигуна після набрання ним номінальних обертів доцільне, оскільки „лінійка” потужності двигунів дискретна і, як правило, за умовами застосування обирають двигун приводу компресора потужність якого дорівнює або перевищує розрахункове її значення. Більш того практика застосування двигунів загально промислового призначення показує, що вони як правило працюють недовантаженими більшу частину робочого циклу. Термін часу роботи двигуна при максимальному навантаженні суттєво обмежений. Тому пуск двигуна полегшений, але під час зростання перепаду тиску, внаслідок роботи холодильної машини, навантаження на валу двигуна зростає до найбільшого наприкінці робочого циклу. Після забезпечення компресором належних умов за температурою у холодильній камері, датчик температури вимкне двигун до наступного циклу включення.*

*Таким чином, умови роботи холодильної машини із компресором при зниженій напрузі живлення у обмеженому діапазоні ковзань ротора суттєво знизить додаткове втікання теплового потоку від двигуна до холодильного циклу, чим покращать коефіцієнт корисної дії компресора та холодильний коефіцієнт холодильної машини.*

*Отже, покращення холодильної машини з точки зору досконалості її холодильного циклу можна здійснити не тільки шляхом покращення властивостей хладагентів, компресорів, а також запровадження більш ефективних умов роботи двигуна приводу компресора, а саме:*

*- розробкою та застосуванням додаткового недорогого приладу, щодо автоматичного підтримання такого значення напруги живлення обмотки двигуна при якій споживаний нею струм найменший і відповідає моменту навантаження.*

*- розробкою та застосуванням обмоток двигуна конкурентно-спроможним існуючим їх схемам але з покращеними енергетичними показниками.*

*Доклад посвящен разработке научно-технических основ повышения эффективности и экологической безопасности холодильных установок поддержания оптимальных уровней напряжения, что обеспечивает минимальный расход электроэнергии. Уменьшение напряжения питания однофазного двигателя после набора номинальных оборотов целесообразным, поскольку "линейка" мощности двигателей дискретная и, как правило, по условиям применения выбирают двигатель компрессора мощность которого равна или превышает расчетное ее значение, более того практика применения двигателей общепромышленного назначения показывает, что они как правило работают недогруженными большую часть рабочего цикла. Время работы двигателя при максимальной нагрузке существенно ограничен, поэтому пуск двигателя облегчен, но во время роста перепада давления, в результате работы холодильной машины, нагрузки на*

валу двигателя возрастает до наибольшего в конце рабочего цикла. После обеспечения компрессором надлежащих условий по температуре в холодильной камере, датчик температуры отключит двигатель до следующего цикла включения.

Таким образом, условия работы холодильной машины с компрессором при пониженном напряжении питания в ограниченном диапазоне скольжений ротора существенно снизит дополнительный расход теплового потока от двигателя к холодильному циклу, чем улучшат КПД компрессора и холодильный коэффициент холодильной машины.

Следовательно, улучшение холодильной машины с точки зрения совершенства ее холодильного цикла можно осуществить не только путем улучшения свойств хладагента, компрессоров, а также внедрение более эффективных условий работы двигателя компрессора, а именно:

- разработкой и применением дополнительного недорогого прибора, относительно автоматического поддержания такого значения напряжения питания обмотки двигателя при которой потребляемый ею ток маленький и соответствует моменту нагрузки.
- разработкой и применением обмоток двигателя конкурентно-способным существующим их схемам но с улучшенными энергетическими показателями.

*The report concerns the development of scientific and technical basis to increase efficiency and environmental safety chiller for optimum voltage levels, which provides the minimum energy consumption. Reducing the supply voltage single-phase motor after it has taken appropriate nominal speed, as the Ruler of engine power discrete and are usually chosen by application of the engine drive compressor capacity equals or exceeds the calculated value.'s More general practice of engines for industrial use shows they usually are underloaded much of the cycle. Period of time the engine at maximum load significantly limited. Therefore, engine start easier, but when you increase pressure difference, because of the cooling machine, the load on the motor shaft rising to the highest end of the cycle. After compressor providing the appropriate conditions of temperature in the refrigerating chamber temperature sensor turns off the motor cycle to the next cycle.*

*Thus, the working conditions of the refrigerator compressor at reduced supply voltage in a limited range of skates rotor decrease flee additional heat flow from the engine to the refrigeration cycle, what will enhance the efficiency of the compressor and the refrigerator coefficient. So, improving cooling machine in terms of excellence of its refrigeration cycle can be achieved not only by improving the properties of refrigerant, compressor, and the introduction of more efficient working conditions of the compressor drive motor, namely:*

*- Development and application of additional low-cost device for automatic maintenance of the voltage supply winding engine which consumed at least its current and corresponds to the time of loading.*

*- Development and use of motor windings of competitive their existing schemes but with improved energy performance.*

В теперішній час холодильна техніка і системи кондиціонування повітря споживали близько 15% від усієї електроенергії, що вироблялася в світі, а до 2020 року ця цифра становитиме 20 %. Тому питання підвищення ефективності холодильних установок є актуальним і має велике в народногосподарське значення. Вирішення цієї проблеми помітно зменшить внесок сектора штучного холоду в глобальне потепління, оскільки непряма емісія вуглекислого газу під час вироблення електроенергії та її подальшого споживання

холодильними установками в десятки разів вища за пряму дію від можливої емісії холодоагентів в атмосферу.

Одним із технічних рішень, що забезпечують суттєвий енергоощадний ефект та дають можливість зменшити платежі за електроенергію є підтримання оптимальних рівнів напруги, що забезпечує мінімальну витрату електроенергії.

Оскільки номінальна напруга у побутовій мережі живлення обмежена лише одним його діючим значенням  $U=220$  В, то електрообладнання побутової техніки проектується і виготовляється виходячи саме з цього її незмінного значення, та за умов забезпечення ним оптимальних значень лінійних навантажень в електрообладнанні на рівні максимального насичення його сталевого осердя – при допустимих за нагрівом втратах енергії в ньому та, також густини струму у котушках обмотки статора на рівні найвищого її значення за умови межового нагріву обмотки і класу стійкості її ізоляції. На етапі проектування електрообладнання в його математичну модель закладають умову щодо якій воно значний термін робочого часу буде працювати недовантаженим на 25%, а тому його найкращі характеристики повинні відповідати саме цій умові. Слід зауважити і те, що у холодильній галузі встановлена «лінійка» діапазону працездатності компресорів: 7,3; 7,5; 7,8; 8,0; 8,2; 8,3; 8,6; 9,0; 10,5; 11,6 дм<sup>3</sup>/хв., а електромашинобудуванні – потужностей двигунів 60, 90, 120, 180, 220, 250, 370, 550, 750 Вт тощо, і на етапі вибору компресора з двигуном за умови забезпечення ними відповідної працездатності компресора, обирають таку пару компресор - двигун, яка відповідає розрахунковій працездатності холодильної машини з деяким запасом надійності., що враховує можливі її відхилення внаслідок недосконалості технологічного циклу виготовлення компресора або обирають пару компресор-двигун наступної більшої працездатності. У останньому випадку в агрегаті компресор-двигун буде започатковане його суттєве недовантаження, яке до того ж супроводжується низькими енергетичними характеристиками двигуна коефіцієнтами потужності та корисної дії.

Застосування приладу з регулювання напруги живлення двигуна в функції мінімального значення споживаного ним струму в компресорах холодильних установок дозволяє не тільки покращити коефіцієнт корисної дії холодильної установки, а й отримати значний економічний ефект від заощадження електричної енергії.

Зовнішній вигляд залежності енергії споживання електродвигуном приводу компресора (номінальної напруги живлення 220В) від напруги мережі живлення  $W=f(U)$  дозволяє визначити оптимальну напругу живлення двигуна компресора на рівні  $U=188$  В, якій відповідає мінімальна споживана енергія, при умові змінного моменту навантаження на валу двигуна працюючого холодильника, та, як наслідок, мінімальних втратах потужності в обмотках двигуна, мінімальній температурі обмоток, мінімального перегріву двигуна, та найвищих ККД компресора і холодильного коефіцієнта показан на рис. 1.

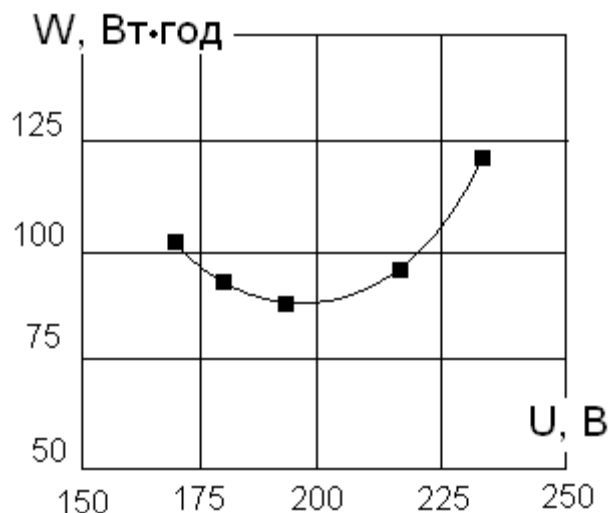


Рис.1. – Залежність потужності споживаної двигуном ДМХ-5 у залежності від напруги живлення при умові що  $M > 0$

Потужність спожита електродвигуном Р1 або, як її визначають у холодильній техніці N, залежить від об'ємних витрат фреону V (м<sup>3</sup>/с) або працездатності компресора, від підвищення тиску яке здійснюється компресором ΔP, (Па), та коефіцієнтом корисної дії

$$\text{компресора} - \eta_k, \text{ тобто } N = \frac{V \cdot \Delta P}{\eta_k}$$

Тому доцільно визначати її за відомим значенням «лінійки» працездатності компресорів і порівняти з потужністю споживаною вбудованими двигунами компресорів, типи яких наведені у таблиці.

Таблиця

Тип електричного двигуна	Корисна потужність, P, Вт	Тип компресора	Працездатність, $V \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{с}$	Розрахункова потужність двигуна, N, Вт
ЗДП-23, ЗД-23	<b>90</b>	ХКВ5-ІЛБУ	121,1	147,7- 180,7
ДХМ-5	<b>90</b>	ДХ-21010А	124,5	151,8- 185,8
ДХМ-5	90	ФГ-0,09	129,4	157,8- 193,1
ДХМ-5	90	ФІ - 0,09	132,8	162,0- 198,2
ДХМ-5	90	ФГ- 0,09 ДХ-21010А	136,1	166,0- 203,1
ЗД-21	90	ХКВ6-ІЛБУ	137,7	167,9- 205,5
ЗДП-24 ДХМ ЗД	90	ХКВ6-ІЛБУ ХКВ6-ІДБИ ХКВ6-ІЛБУ	142,7	174,0- 213,0
ДХМ-5	90	ФГ-0,14	149,4	182,2- 223,0
ДХМ-5	90	К063.№63,2 КХ-0,125	174,3	212,6- 260,1

ЗДП-125	125	ХКВ6-ІЛБУ	192,5	234,8- 287,3
---------	-----	-----------	-------	--------------

Якщо вважати, що підвищення тиску на ділянці нагнітання та всмоктування хладону у середньому становить  $10^6 \text{Па}$  ( $10 \text{ат}$ ), та коефіцієнт корисної дії компресора, коливається в залежності від температури двигуна приводу компресора у межах  $0,67 < \eta_k < 0,82$ , то необхідне розрахункове значення потужності спожитої двигуном від мережі живлення отримаємо на рівнях вказаних у таблиці. Як видно з таблиці значень потужностей, наприклад для двигуна типу ДХМ- 5, споживана ним з мережі живлення потужність при коефіцієнті корисної дії за паспортними характеристиками  $\eta_{АД}=0,6$  становить  $P=155 \text{Вт}$ . У свою чергу споживана компресором від двигуна потужність, у залежності від тиску хладону на ділянці нагнітання компресора типу ФГ-0,09 та температури котушок обмотки двигуна, коливається у межах  $157,8-203,1 \text{ Вт}$ . Легко бачити, що номінальна споживана з мережі живлення потужність двигуна відповідає лише початковій потужності компресора, коли перепаду тиску хладону майже немає. По мірі зростання тиску хладону у системі охолодження та зростанню температури двигуна знадобиться потужність на рівні  $203,1 \text{ Вт}$ , яку двигун компресора безумовно забезпечить, але завдяки перевантаженню за споживаним струмом, потужністю і при подальшому збільшенні температури котушок обмотки тобто із зростанням потужності необоротного джерела теплового потоку у замкненому циклі холодильної машини.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показує, що зменшення напруги живлення однофазного двигуна після набрання ним номінальних обертів доцільне, оскільки „лінійка” потужності двигунів дискретна і, як правило, за умовами застосування обирають двигун приводу компресора потужність якого дорівнює або перевищує розрахункове її значення. Більш того практика застосування двигунів загально промислового призначення показує, що вони як правило працюють недовантаженими більшу частину робочого циклу. Термін часу роботи двигуна при максимальному навантаженні суттєво обмежений. Наприклад, при пуску двигуна приводу компресора холодильної машини перепад тиску на лінії нагнітання хладону та всмоктування нульовий. Тому пуск двигуна полегшений, але під час зростання перепаду тиску, внаслідок роботи холодильної машини, навантаження на валу двигуна зростає до найбільшого наприкінці робочого циклу. Після забезпечення компресором належних умов за температурою у холодильній камері, датчик температури вимкне двигун до наступного циклу включення. Оскільки тривалість часу нагріву холодильної камери значно більша ніж час зрівняння перепаду тиску на лініях нагнітання та всмоктування хладону у компресорі, можна вважати, що наступний пуск двигуна також полегшений.

Таким чином, умови роботи холодильної машини із компресором при зниженій напрузі живлення у обмеженому діапазоні ковзань ротора суттєво знизить додаткове втікання теплового потоку від двигуна до холодильного циклу, чим покращать коефіцієнт корисної дії компресора та холодильний коефіцієнт холодильної машини.

Покращення холодильної машини з точки зору досконалості її холодильного циклу можна здійснити не тільки шляхом покращення властивостей хладогентів, компресорів, а також запровадження більш ефективних умов роботи двигуну приводу компресора, а саме:

- розробкою та застосуванням додаткового недорогого приладу, щодо автоматичного підтримання такого значення напруги живлення обмотки двигуна при якій споживаний нею струм найменший і відповідає моменту навантаження.

- Розробкою та застосуванням обмоток двигуна конкурентно-спроможним існуючим їх схемам але з покращеними енергетичними показниками.