

УДК 62-83: 621.316.79

О. А. Онищенко, д-р техн. наук

### ДВУКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МАЛЫМИ ХОЛОДИЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

*Аннотация.* Описана работа двухканальной системы управления электроприводами компрессора и вентилятора принудительного обдува конденсатора бытового холодильного прибора. Приведены структурная схема и результаты моделирования. Показаны энергетические преимущества предложенной системы.

*Ключевые слова:* система управления, экстремальный регулятор, электропривод, энергосбережение.

О. А. Onishchenko, ScD

### TWO CHANNEL CONTROL SYSTEM OF SMALL REFRIGERATION UNITS

*Abstract.* Two channel control system of compressor and ventilator electromechanics of the forced blowing condenser in refrigeration appliance is described. A flow diagram, design results and power advantages of the offered system are presented.

*Keywords:* control system, extreme regulator, electric drive, energy-savings.

О. А. Онищенко, д-р техн. наук

### ДВОКАНАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МАЛИМИ ХОЛОДИЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ

*Анотація.* Описано роботу двоканальної системи управління електроприводами компресора і вентилятора при-мусового обдування конденсатора побутового холодильника. Наведено структурну схему і результати моделювання. Показано енергетичні переваги запропонованої системи.

*Ключові слова:* система управління, екстремальний регулятор, електропривод, енергозбереження.

Большинство холодильных компрессионных установок (ХКУ) малой производительности оснащены конденсаторами воздушного, естественной конвекции, охлаждения. Особенности работы таких ХКУ следующие:

компрессор и теплообменные аппараты в состоянии обеспечить функционирование ХКУ при максимальной тепловой нагрузке, несмотря на то, что такая нагрузка обычно составляет несколько сот часов за год;

функционирование ХКУ проходит при изменяющейся в широких пределах температуре конденсации;

в условиях переменных тепловых нагрузок, с целью снижения энергопотребления ХКУ, необходимо выдерживать заданное соотношение между давлением конденсации и нагнетания;

температура конденсации  $t_K$  хладагента существенно влияет на расход электроэнергии (увеличение температуры конденсации на 1 °С приводит к возрастанию потребляемой компрессором ХКУ мощности на 4 %) [1–3].

Именно по этим причинам при конкретных особенностях и условиях эксплуатации ХКУ весьма важно управлять температурой конденсации хладагента. Известно, что замена естественной конвекции воздуха на вынужденную, реализуемую путем обдува активной поверхности теплообмена, позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха до 7 раз по сравнению с режимами естественной конвекции [1,2,3,7].

Отметим две важных тенденции развития современной малой холодильной техники.

1. Производители систем автоматики (*Alco Controls – FSX-42S, Aspen – BN27.3WA* и другие) предлагают к применению в ХКУ регуляторы температуры конденсации (РТК). Такие регуляторы (*HPC1/4, LAC-1/7* компании *EDC International Ltd.*, Великобритания, *FASEC-33, -100, -500* фирмы *ELIWELL*, Франция) имеют прикрепляемый к кожуху воздушного конденсатора термодатчик и осуществляют плавное регулирование температуры конденсации хладагента путем принудительного обдува поверхности воздушного конденсатора [4].

© Онищенко О.А., 2012

2. Современные малые ХКУ начинают оснащать САУ компрессоров, осуществляющих плавное регулирование их холодопроизводительности. Применение таких САУ не только снижает расход электроэнергии на выработку холода, существенно повышая комплексные технико-экономических показатели, но и позволяет получить от ХКУ ряд новых потребительских свойств [4–6].

Для названных САУ остаются открытыми вопросы качества динамических процессов, процессов энергопотребления, расширения диапазона регулирования производительности как компрессора, так и вентилятора конденсатора, а также многие другие. Таким образом, актуальность решения задач снижения энергопотребления таких массовых потребителей электроэнергии как малые, в том числе бытовые ХКУ, безусловна.

В статье предлагается новый принцип построения САУ ХКУ малой производительности, обеспечивающий *минимизацию* расхода электроэнергии на выработку холода при изменяющихся в широких пределах управляющих сигналов и тепловых нагрузок.

Принцип работы такой САУ (рис. 1) основан на одновременном, двуканальном, плавном управлении производительностью: 1-го канала – компрессора и 2-го канала – системы принудительного охлаждения воздушного конденсатора. На рис.1 обозначено: САУ<sub>К</sub>, САУ<sub>В</sub> – системы управления электродвигателями компрессора (ЭД<sub>К</sub>) и вентилятора (ЭД<sub>В</sub>) с соответствующими датчиками

тока (ДТ<sub>К</sub> и ДТ<sub>В</sub>);  $t_0$ ,  $t_K$ ,  $t_{0.зад}$ ,  $t_{K.зад}$  – соответственно, температуры кипения и конденсации, а также их заданные значения;  $Q_0$  и  $Q_K$  – производительности испарителя и конденсатора;  $I_K$ ,  $I_B$  – токи, потребляемые компрессором и вентилятором из сети.

Для предварительного анализа работоспособности представленной на рис. 1 САУ принят наиболее простой алгоритм управления – взаимодействие двух каналов обеспечивается с помощью экстремального регулятора ЭР, определяющего задающую уставку  $t_{K.зад}$  каналу управления вентилятором воздушного конденсатора ХКУ, исходя из условия минимума потребляемого двумя САУ (производительности компрессора и вентилятора) суммарного тока:  $I_K + I_B \rightarrow min$ .

Решение задачи двуканального управления невозможно без создания САУ производительностью вентилятора, причем мощность вентилятора воздушного конденсатора, например, при работе в составе бытового холодильного прибора (БХП) уже соизмерима с тепловыми притоками, должна быть ограниченной и обязательно учитываться в суммарном расходе электроэнергии ХКУ [4].

Структурная схема двуканальной системы управления БХП очевидна и приведена на рис. 2.

Считаем, что локальные САУ, содержащие регуляторы температур кипения и конденсации, а также САУ компрессора и вентилятора настроены на технический оптимум.

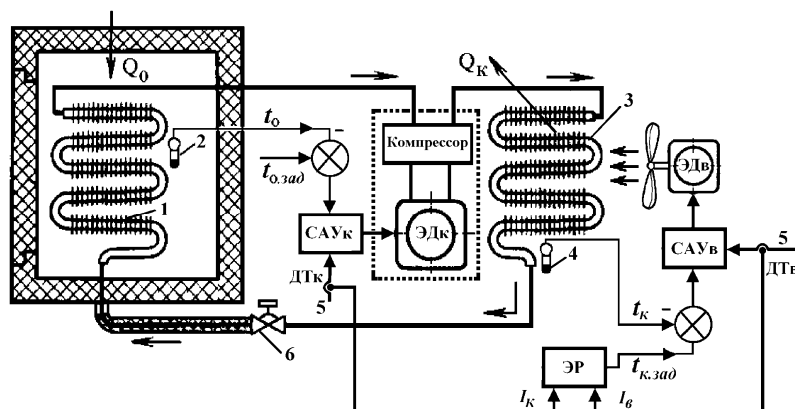


Рис. 1. Принцип построения двуканальной САУ малой ХКУ с воздушным конденсатором:  
 1 – испаритель; 2 – датчик температуры кипения; 3 – воздушный конденсатор;  
 4 – датчик температуры конденсации; 5 – электрическая сеть; 6 – терморегулирующий  
 вентиль (капиллярная трубка)



Рис. 2. Упрощенная структурная схема двуканальной САУ БХП

Таким образом, математическая модель (ММ) двуканальной системы управления, созданная согласно рис. 2, кроме модели ЭР, содержит субблоки моделей БХП и локальных САУ производительностью компрессора и вентилятора [4–6]. Работа ЭР основана на реализации алгоритма поиска экстремума, например, методом дихотомии.

В качестве примера функционирования двуканальной системы управления рассмотрена ее работа с параметрами БХП, приведенными в [5], и осевым вентилятором на основе вентилятора ф. *SilenX* (малошумный, *slim*-корпус). В ММ этой САУ учтены нелинейные зависимости КПД вентилятора от скорости, а также его напорно-расходной характеристики  $p = f(Q)$  (рис. 3).

Характеристики вентилятора приведены при плотности воздуха  $1,2 \text{ кг/м}^3$  и  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Номинальные паспортные данные вентилятора: уровень шума 31 дБ,  $Q_n = 110 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $\eta_n = 63 \%$ ,  $p_n = 11,8 \text{ Па}$ ,  $P_{\text{мех.н}} = 14 \text{ Вт}$ ,  $n_n = 2410 \pm 20 \text{ об/мин}$ ,  $\cos \varphi_n = 0,61$ .

Для оценки режимов энергопотребления в зависимости от изменения температуры наружного воздуха ( $8...45 \text{ }^\circ\text{C}$ ), в ММ САУ характеристики относительной холодопроизводительности компрессора  $Q_0/Q_{0ном}$  (рис. 4) в функции температур конденсации и кипения ( $-30...+10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) аппроксимированы сплайн-функциями.

Связь, описывающая снижение температуры конденсации относительно температуры наружного воздуха и производительностью  $Q$  вентилятора принята практически линейной. Для ускорения расчетов в модели двуканальной САУ использованы “гладкие” модели локальных САУ, поэтому не учтены

потери в силовых полупроводниковых элементах преобразователей.

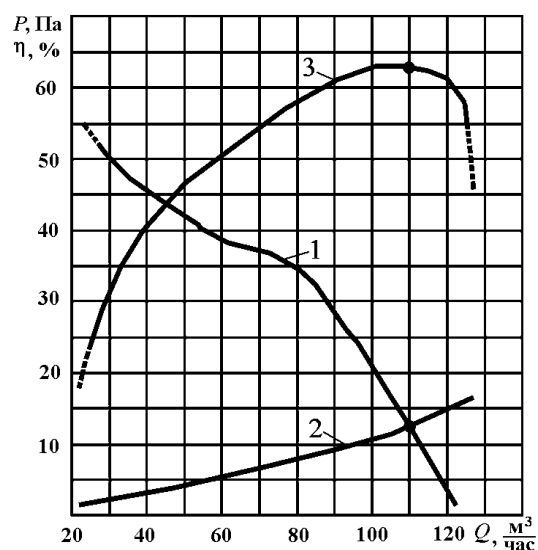


Рис. 3. Паспортные характеристики вентилятора *SilenX*:  
 1 –  $p = f(Q)$ ; 2 – характеристика сети;  
 3 – зависимость КПД

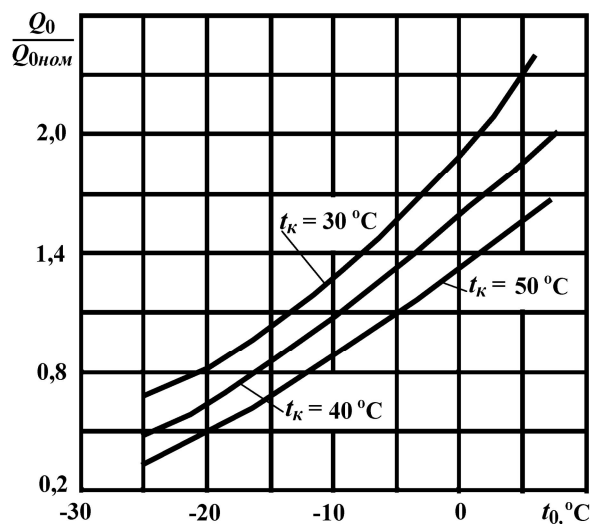


Рис. 4. Зависимости относительной холодопроизводительности компрессорно-конденсаторного агрегата в функции температур кипения и конденсации хладагента

На рис. 5 приведен пример работы ММ при поисковом процессе – нахождении системой управления экстремальной точки, соответствующей практически минимальному суммарному расходу электроэнергии (температура наружного воздуха  $t_{н.в.} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Поисковый процесс начинается после выхода БХП в установившийся температурный режим при максимальной скорости обдува вентилятором конденсатора.

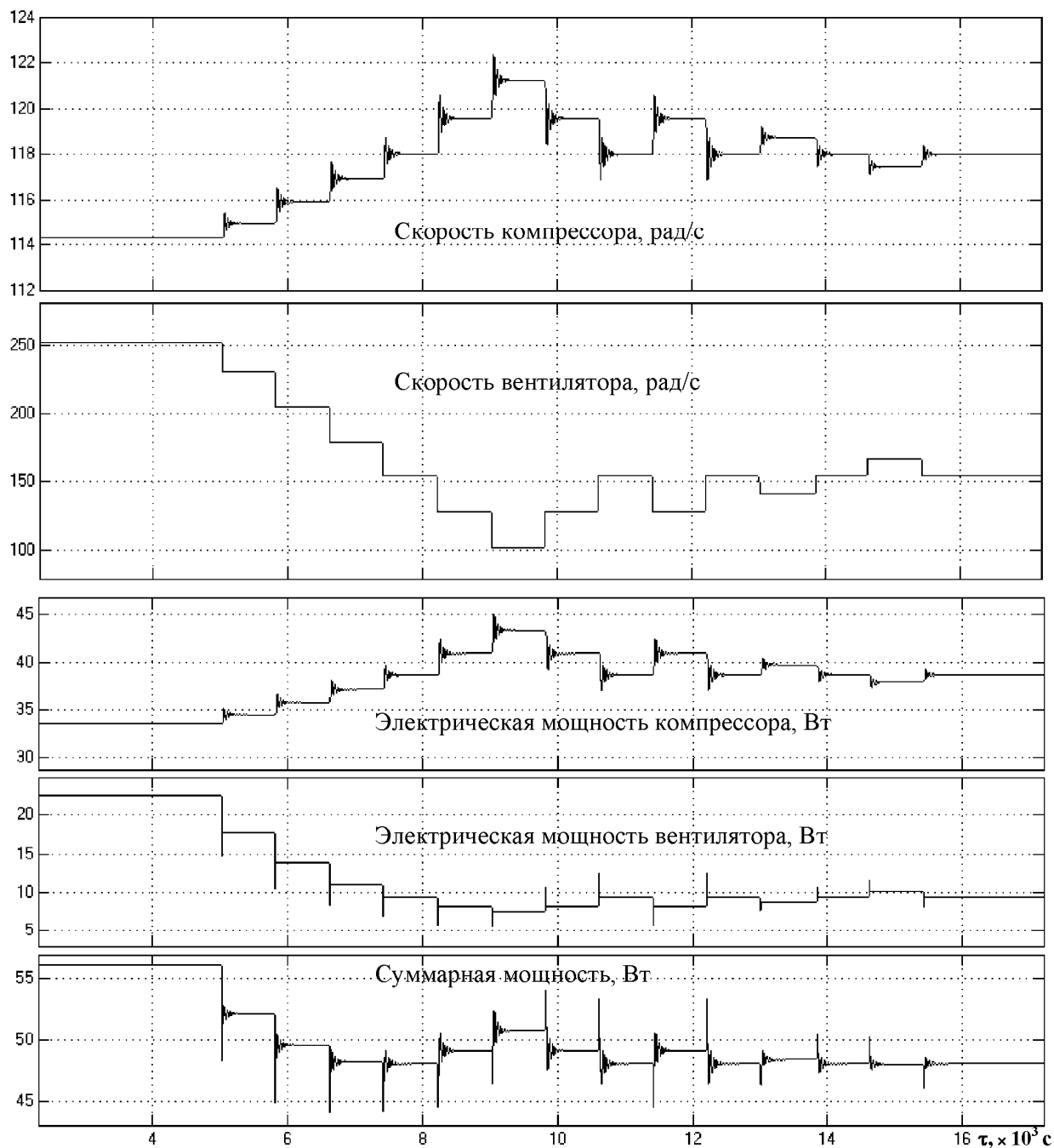


Рис. 5. Динамические процессы в двуканальной САУ БХП в режиме поиска экстремума ( $I_K + I_B \rightarrow \min$ ) при температуре наружного воздуха  $t_{н.в.} = 28^\circ\text{C}$

Потребляемая мощность вентилятора при этом максимальна (около 22 Вт), а мощность компрессора – минимальна (около 34 Вт). Далее, через определенные промежутки времени, ЭР изменяет задание каналу температуры конденсации. При этом устанавливаются новые статические режимы энергопотребления при прежней, заданной температуре кипения. Поисковый алгоритм ЭР пу-

тем пробных воздействий, сравнивает текущее значение энергопотребления с предыдущим. На этой основе ЭР принимается решение о дальнейшем управлении производительностью вентилятора.

После ряда итераций системой находится энергетически наилучший режим, при котором сумма мощностей вентилятора (около 9 Вт) и компрессора (около 39 Вт) минимальна.

С помощью разработанных ММ исследованы локальные системы регулирования температуры конденсации хладагента и производительности компрессора. Созданы экспериментальные образцы асинхронных электроприводов, позволивших реализовать минимально-необходимые функции управления вентилятором и компрессором.

Электроприводы позволяют работать во второй зоне регулирования скоростей отличаются низкой себестоимостью изготовления при практической их реализации.

Установлено, что при пробных воздействиях от ЭР, изменения температуры имитаторов продуктов, загруженных в морозильную камеру, не превышали  $\pm 0,15$  °С относительно заданной ( $-12$  °С). Сравнительные результаты оценки энергопотребления БХП при различных температурах наружного воздуха и для разных типов САУ приведены на рис. 6.

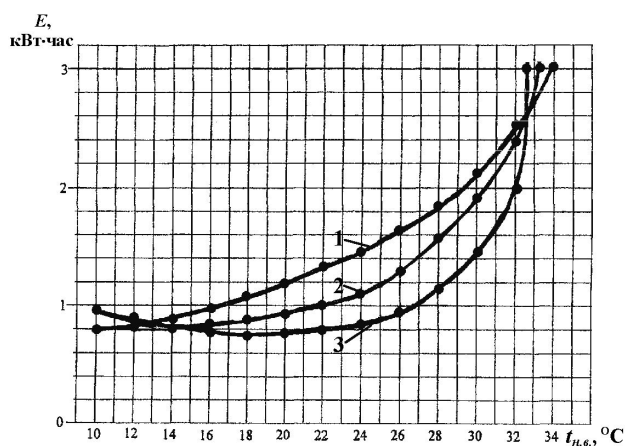


Рис. 6. Суточное потребление электроэнергии БХП при фиксированной температуре кипения, различных температурах наружного воздуха и способах управления:  
1 – “релейный”; 2 – одноканальный;  
3 – двухканальный способ управления

Несмотря на то, что реальное энергопотребление рассмотренной ХКУ следует увеличить относительно расчетных значений полученных из гладкой ММ (рис. 6 для одноканальной САУ примерно на 5 %, а двухканальной – на 8 %), эффективность функционирования предложенной двухканальной системы управления очевидна, а на современном уровне управляющей и силовой тех-

ники реализация представленной САУ не вызывает затруднений.

Моделирование, проведенное на примере предложенной двухканальной системы управления БХП с локальными САУ производительности компрессора и вентилятора охлаждения конденсатора подтвердило работоспособность системы. Из примера работы двухканальной САУ следует, что при определенных нагрузках возможно снижение энергопотребления БХП почти на 40 %.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Впервые обоснованы и предложены принцип построения, структурная схема и математическая модель экстремальной, по критерию обеспечения минимума энергопотребления, САУ ХКУ с воздушным конденсатором, использующая двухканальный принцип управления – температурой кипения хладагента и температурой его конденсации.

2. Несмотря на общее усложнение системы, двухканальные САУ могут обеспечивать заметное снижение энергопотребления малых ХКУ в широком диапазоне изменений температур наружного воздуха ( $14 \dots 33$  °С).

#### Список использованной литературы

1. Научно-технические основы создания современных бытовых холодильных приборов / [В.И. Ландик, В.П. Шевченко, А.А. Шубин, А.А. Самсоненко и др.]; под. ред. В.И. Ландика. – Донецк: ДонНУ, 2002. – 200 с.

2. Желіба Ю.О. Энергозбереження при виробництві та споживанні холоду (Ч.1 и Ч.2). / Ю.О. Желіба // Холод МТ. – 2004. – №2. – С. 39–43; – № 3. – С. 44–46.

3. Мааке В. Учебник по холодильной технике / В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен; пер. с франц. под ред. В.Б. Сапожникова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 1142 с.

4. Онищенко О.А. Электропривод систем температуры конденсации холодильных установок / О.А. Онищенко // Электромашинобудування та електрообладнання. – 2006. – № 66. – С. 190–192.

5. Онищенко О.А. Оценка энергетических затрат на выработку холода бытовым холодильным прибором / О.А. Онищенко //

Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2007. – № 3 (44). – Ч. 1. – С. 106–110.

6. Онищенко О.А. Модель холодильной установки с автоматизированным электроприводом компрессора / О.А. Онищенко // Холодильная техника и технология (прил. к журналу). – 2005. – №5(97). – С. 120–129.

7. Dossat R.J., Horan T.J. Principles of Refrigeration. – NY: Prentice Hall Press, 2002. – 454 p.

Получено 24.01.2012

#### References

1. Scientific and technical basis of the modern household refrigerators / [V.I. Landik, V.P. Shevchenko, A.A. Shubin A.A. Samsonenko and others]; under ed. V.I. Landik. – Donetsk: National University, 2002. – 200 p. [in Russian].

2. Zheliba Y. Conservation of energy production and consumption of cold (P. 1, 2). / Cold MT. – 2004. – № 2. – P. 39–43; – № 3. – P. 44–46 [in Ukrainian].

3. Maake B., Eckert G.-Y., Coshpen J.-L. Textbook of refrigeration, translated from French. Edited V.B. Sapognikov. – Moscow: Moscow Univ. Press, 1998. – 1142 p. [in Russian].

4. Onishchenko O.A. The electric drive system to the refrigeration condensing temperature / Electrical machinery & electrical equipment. – 2006. – № 66. – P. 190–192 [in Russian].

5. Onishchenko O.A. Evaluation of the energy production costs for domestic refrigeration cooling unit / Messenger KDPU named M.Ostrogradskogo. – 2007. – № 3 (44). – Part 1. – P. 106–110 [in Russian].

6. Onishchenko O.A. Model of the refrigeration unit with an automated electric drive compressor / Refrigeration equipment and technology (Appendix to the magazine). – 2005. – № 5 (97). – P. 120–129 [in Russian].

7. Dossat R.J. Principles of Refrigeration / R.J. Dossat, T.J. Horan. – NY: Prentice Hall Press, 2002. – 454 p.



Онищенко  
Олег Анатольевич,  
д-р техн. наук, проф. каф.  
электротехники и элект-  
ронных устройств  
Одесск. госуд. акад. холода,  
тел.: (048) 720-91-71