

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ АБСОРБЦИОННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ПРИБОРА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Редунов Г.М.¹, ассистент, Титлов А.С.², д-р техн. наук, профессор

1) Одесская государственная академия холода, г. Одесса

2) Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Представлен подход к моделированию переходных процессов в абсорбционных холодильных приборах, который позволяет повысить энергетическую эффективность за счет минимизации потерь в переходных режимах

Going near the design of transients is presented in absorption refrigeration devices, which allows to promote power efficiency due to minimization of losses in transient behaviors

Ключевые слова: абсорбционный холодильный прибор, энергосбережение, управление переходными процессами

Основной задачей энергосберегающего управления АХП является повышение энергетической эффективности посредством поддержания оптимального режима работы [1]. Понятие оптимальности многогранно и должно быть конкретизировано для каждого отдельного случая. Для АХП критерий оптимальности должен учитывать необходимость поддержания требуемых температурных режимов при холодильном хранении пищевых продуктов.

Применение систем автоматического регулирования в большинстве моделей бытовой холодильной техники как компрессионного, так и абсорбционного типа, как правило, сводится к установке манометрических реле температуры, которые, однако, имеют высокую погрешность измерения температуры и не удовлетворяют современным требованиям (цифровая индикация режимов холодильного хранения, поддержание заданного уровня температур холодильного хранения) [2].

Бытовые абсорбционные холодильники и морозильники принадлежат к числу статических объектов с большой тепловой инерцией и медленно изменяющейся тепловой нагрузкой на испаритель, что не предъявляет особых требований к системам поддержания температурных режимов, однако ограниченные возможности воздействия — практически только посредством изменения тепловой нагрузки на генераторе [3, 4], значительно усложняют алгоритмы управления.

Современный уровень развития электронной техники позволяет создавать всевозможные системы управления без каких-либо ограничений по сложности их алгоритмов [5]. В настоящее время в бытовой холодильной технике получают развитие системы управления, получившие название «Fuzzy Logic» («нечеткой логики»). Такие системы позволяют поддерживать заданную температуру хранения с минимальным отклонением и, одновременно, снизить энергопотребление холодильного прибора. Так, например, фирма «Electrolux» в новых моделях минибаров (RH340LD, RH341LD, RH355LD) с системами «Fuzzy Logic» добилась снижения энергопотребления, по сравнению с аналогами до 40 % [6].

Объектом исследования являлась холодильная камера (ХК) абсорбционного холодильного прибора (АХП). В состав АХП кроме ХК входит и абсорбционный холодильный агрегат (АХА). Физическая сущность такого объекта связана с преобразованием температуры, он будет обладать статическими (k_0) и динамическими свойствами (T_0 , τ_0). Следовательно, процессы, протекающие в ХК можно описать с помощью дифференциального уравнения 1-го или 2-го порядков, т.е. динамическими звеньями 1-го или 2-го порядков с запаздыванием вида (*) (**) (всегда характерные для реальных объектов).

В результате проведения реальных экспериментов на АХП и шлюпочным двухцилиндровым дизелем 20 л.с. на базе Одесской национальной морской академии [7] были получены реальные переходные характеристики (ПХ) температуры в ХК в зависимости от изменения электрической мощности или тепла выхлопных газов, подводимой к нагревателю. По одной из ПХ была проведена идентификация объекта управления (ОУ) — холодильной камеры. Получены передаточные функции W в виде дифференциальных уравнений (ДУ), описывающие данный объект.

Идентификация проводилась по известным в теории автоматического управления (ТАУ) методикам: для модели 1-го порядка и для модели 2-го порядка. Полученные в результате эксперимента (экспериментальная ПХ) и ПХ моделей приведены на рис. 1 и рис. 2.

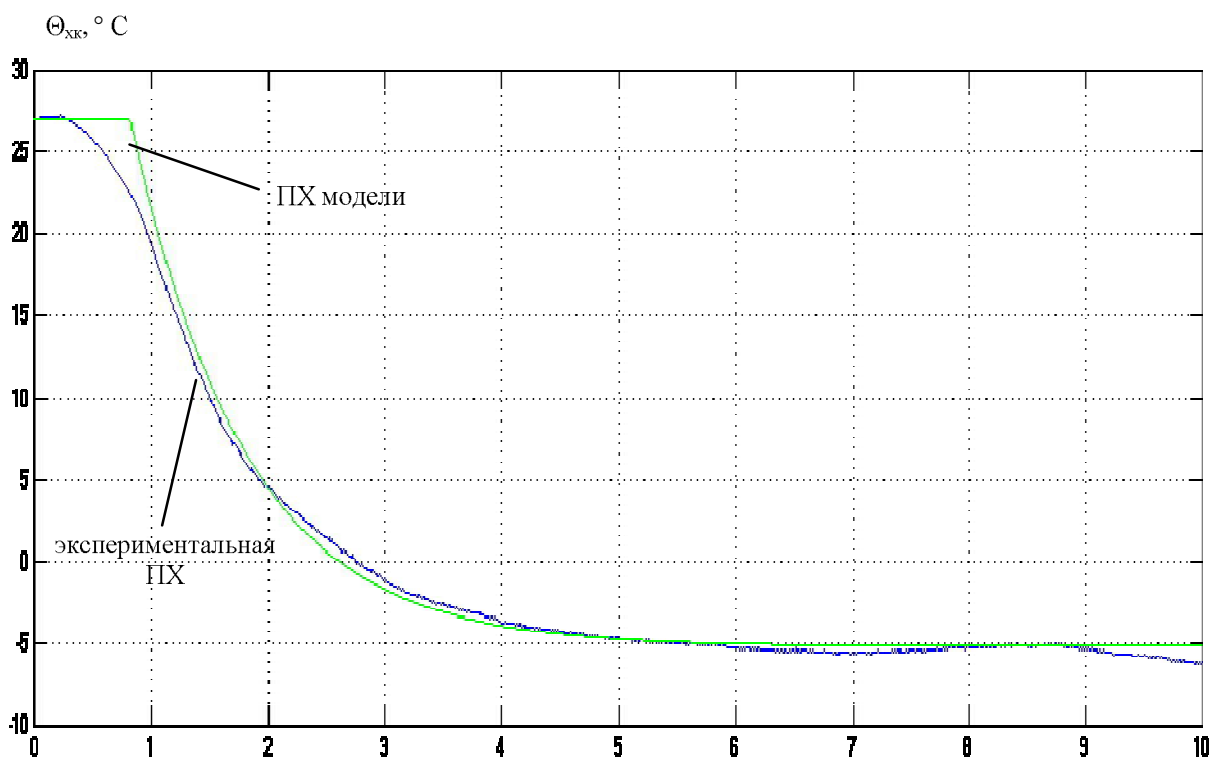


Рис. 1 – Результаты моделирования экспериментальной ПХ и ПХ модели 1-го порядка

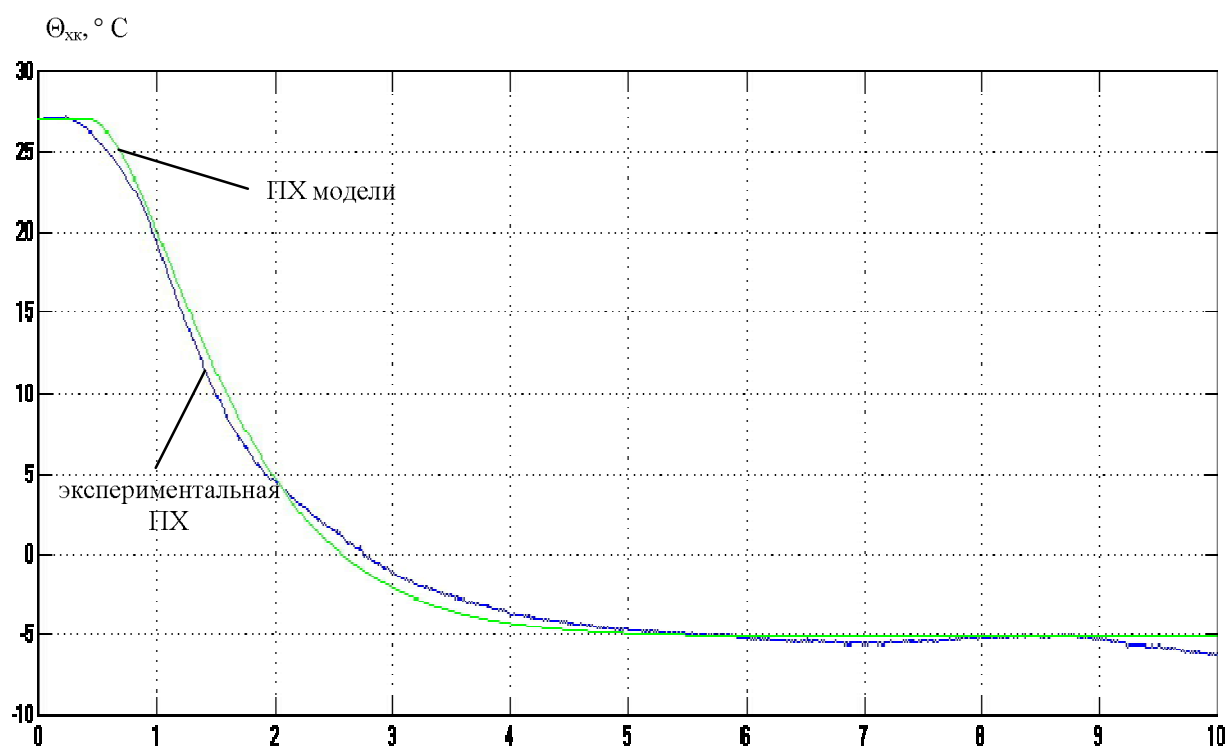


Рис. 2 – Результаты моделирования экспериментальной ПХ и ПХ модели 2-го порядка

Структурно АХА состоит из следующих элементов: испаритель, абсорбер, подъемный и опускной дефлегматоры, генераторный узел — нагреватель (выхлопными газами после утилизационного котла с температурой 110...180 °С), конденсатор, ЖТО (жидкостные теплообменники), промежуточные теплообменники.

Всего схема более 10 элементов, каждый из них хорошо описывается ДУ вида

$$T_0 \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = k_0 \cdot (t - \tau_0). \quad (1)$$

В теории идентификации динамических объектов есть методы сводящие множество ДУ к одному ДУ 1-2-го порядка с запаздыванием вида (*) (**), т.е.

$$T_0 \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = k_0 \cdot (t - \tau_0); \quad (*)$$

$$T_0^2 \frac{d^2\Theta}{dt^2} + 2T_0 \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = k_0 \cdot (t - \tau_0). \quad (**)$$

Параметрическая идентификация проводилась путем минимизации интегрального модульного критерия (интегрального средне модульного отклонения между экспериментальной ПХ и модельной ПХ (***)).

$$R = \min_{t_k} \frac{1}{t_k} \cdot \int_0^{t_k} |\Theta_{\text{э}}(t) - \Theta_{\text{м}}(t)| dt; \quad R_1 = 0,56 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad R_2 = 0,38 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (***)$$

$$T_0 \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = k_0 \cdot (t - \tau_0); \quad 9860 \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = -0,23 \cdot (t - 8170);$$

$$T_0^2 \frac{d^2\Theta}{dt^2} + 2T_0 \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = k_0 \cdot (t - \tau_0); \quad 6540^2 \frac{d^2\Theta}{dt^2} + 2 \cdot 6540 \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = -0,23 \cdot (t - 4300).$$

Интегральный модульный критерий: $I_2 = \int_0^{\infty} |\Delta y(t)| dt$ — характеризует площадь, расположенной между

двумя кривыми (рис. 1 и 2) т.е. экспериментальной ПХ и ПХ модели.

Одновременно решается проблема проверки синтезированной модели на ее адекватность экспериментальной ПХ.

Передаточные функции (ДУ), полученные при идентификации:

а) для модели 1-го порядка:

$$W^o(p) = \frac{-0,23 \cdot e^{-\tau_0 \cdot p}}{T_0 \cdot p + 1}; \quad W^o(p) = \frac{-0,23 \cdot e^{-8170 \cdot p}}{9860 \cdot p + 1};$$

$$T_0 \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = k_0 \cdot (t - \tau_0); \quad 9860 \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = -0,23 \cdot (t - 8170). \quad (*)$$

б) для модели 2-го порядка:

$$W^o(p) = \frac{-0,23 \cdot e^{-\tau_0 \cdot p}}{(T_0 \cdot p + 1)^2}; \quad W^o(p) = \frac{-0,23 \cdot e^{-4300 \cdot p}}{(6540 \cdot p + 1)^2};$$

$$T_0^2 \frac{d^2\Theta}{dt^2} + 2T_0 \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = k_0 \cdot (t - \tau_0); \quad 6540^2 \frac{d^2\Theta}{dt^2} + 2 \cdot 6540 \cdot \frac{d\Theta}{dt} + \Theta(t) = -0,23 \cdot (t - 4300). \quad (**)$$

Из рис. 1 и рис. 2 видно, что наиболее точно экспериментальную ПХ описывает модель 2-го порядка. Поэтому в дальнейших экспериментах будем использовать именно ее.

Таким образом:

$k_0 = -0,23$ — коэффициент передачи объекта;

$T_0 = 6540$ с — постоянная времени инерционности объекта;

$\tau_0 = 4300$ с — время запаздывания объекта управления (ОУ).

Выбор принципа построения системы автоматического регулирования проводится следующим образом. Существует 4 различных принципа построения систем автоматического регулирования (САР), обеспечивающих реализацию требуемого закона изменения регулируемой величины:

- а) принцип разомкнутого управления;
- б) принцип разомкнутого управления по возмущению;
- в) принцип замкнутого управления;
- г) комбинированный принцип управления.

Мы будем использовать принцип замкнутого управления.

Выбор алгоритма регулирования проводится следующим образом.

В инженерной практике наиболее часто используются типовые алгоритмы регулирования. САР с типовыми алгоритмами показывает хорошее соотношение «качество — сложность», причем САР с типовыми алгоритмами имеют достаточно высокую грубость, они поддерживаются соответствующим аппаратным обеспечением и программными средствами, для них разработаны упрощенные методики расчёта настроечных параметров алгоритмов управления. К типовым алгоритмам относят следующие:

- а) П (пропорциональный);
- б) ПИ (пропорционально-интегрирующий);
- в) ПД (пропорционально-дифференцирующий);
- г) ПИД (пропорционально-интегрирующий-дифференцирующий).

В нашем случае объект исследования обладает статическими свойствами. Из теории известно, что в САР со статическим объектом и П- или ПД-регуляторами присутствует ошибка статизма. Ошибка статизма — достаточно негативное явление. Для того чтобы исключить ошибку статизма необходимо использовать ПИ- или ПИД-алгоритмы управления.

В ходе исследования будем использовать различные алгоритмы управления: П-, ПИ-, ПД- и ПИД-регуляторы. Запишем для них уравнения и передаточные функции:

П-алгоритм регулирования (регулятор):

$$u(t) = k_p \cdot \Delta y(t) + u(0); \quad W_I(p) = k_p,$$

где k_p — коэффициент передачи регулятора.

ПИ-регулятор:

$$u(t) = k_p (\Delta y(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta y(t) dt) + u(0); \quad W_{ПИ}(p) = k_p (1 + \frac{1}{T_u p}),$$

где T_u — постоянная времени интегрирования регулятора.

ПД-регулятор:

$$u(t) = k_p \cdot \left(\Delta y(t) + T_{np} \cdot \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right) + u(0); \quad W_{ПД}(p) = k_p (1 + T_{np} p),$$

где T_{np} — постоянная времени предварения регулятора.

Для ПИД алгоритма:

$$u(t) = k_p (\Delta y(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \Delta y(t) dt + T_{np} \cdot \frac{d\Delta y(t)}{dt}) + u(0); \quad W_{ПИД}(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_u p} + T_{np} p \right).$$

Формулирование цели исследования.

Задача оптимального параметрического синтеза САР может быть сформулирована так: необходимо найти такие значения параметров УУ \bar{b}_ϕ^* , удовлетворяющие ограничениям \bar{b}_ϕ^{don} , чтобы при заданных моделях объекта регулирования W^0 и входных воздействий F, Y^{zd} выбранный критерий оптимальности I достигал бы своего наилучшего (экстремального) значения:

$$\bar{b}_\phi^* = \arg \min(\max) I(W^0, F, Y^{zd}, \phi, \bar{b}_\phi, \bar{b}_\phi^* \in \bar{b}_\phi^{don}).$$

Выбор показателей качества переходного процесса в САР

Прямые показатели качества характеризуют переходные процессы (ПП) с разных сторон, но бывают случаи, когда они противоречат друг другу. Для задач оптимизации удобнее использовать интегральные показатели, характеризующие ПП в целом. Наиболее часто применяются следующие критерии:

1. Линейный интегральный критерий: $I_1 = \int_0^\infty \Delta y(t) dt$ — характеризует площадь под кривой ПП.

2. Интегральный модульный критерий: $I_2 = \int_0^\infty |\Delta y(t)| dt$ — характеризует сумму площадей, расположенных над осью абсцисс.

3. Интегральный квадратичный критерий: $I_3 = \int_0^\infty (\Delta y(t))^2 dt$ — большие отклонения Δy «штрафуются» больше, малые — меньше.

4. Интегральный квадратичный критерий, учитывающий величину скорости протекания ПП:

$$I_4 = \int_0^{\infty} \left((\Delta y(t))^2 + \left(T_y \cdot \frac{d\Delta y(t)}{dt} \right)^2 \right) dt,$$

где T_y — весовой коэффициент, отражающий своей величиной степень компромисса между требованиями минимизации площади под $\Delta y^2(t)$ и под $\dot{\Delta y}^2(t)$.

Для нашего случая был выбран последний критерий, как наиболее полно удовлетворяющий взаимоисключающим требованиям к качеству процессов в АХА и ХК.

Выводы

Моделирование переходных процессов АХА и ХК позволило определить подходы к дальнейшему повышению энергетической эффективности АХП методами автоматического управления.

Литература

1. Ужанский В.С. Автоматизация холодильных машин и установок / В.С. Ужанский. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 304 с.
2. Laguerre O. The analysis of the factors determining temperature in a house refrigerator / O. Laguerre, E. Derens, B. Palagos // Int.J. Refr. GB, 2002.08. – Vol. 25. – № 5. – 653-659.
3. Васылив О.Б. Поиск энергосберегающих режимов работы серийных абсорбционных холодильных аппаратов / О.Б. Васылив, А.С. Титлов // Холодильная техника и технология. – 1999. – № 60. – С. 28-37.
4. Василів О.Б. Оптимізація режимів роботи побутових абсорбційних холодильних апаратів різного функціонального призначення / О.Б. Василів // Наукові праці Одес. держ. акад. харч. технологій. – 1998. – № 18 – С. 174–179.
5. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления / Б. Куо. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
6. Титлов А.С. Научно-технические основы создания энергосберегающих бытовых абсорбционных холодильных приборов: дис...д-ра техн. наук : 05.05.14 / Титлов А.С. – Одесса, 2008. – 447 с.
7. Коханський А.І. Перспективи застосування на морських судах абсорбційних холодильних агрегатів (АХА) / А.І. Коханський, Г.М. Редунов, О.С.Тітлов // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вип. 7. – 2011. – С.103-107.

УДК 621.5.013:620.193

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Краснопольский А.¹, Косенко А.¹, Кузнецов Ю.², Казански В.¹, Титлов А.³

¹Ариэльский Университетский Центр Самарии, г. Ариэль, Израиль,

²ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», г. Орел, Россия

³Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина

В статье приведены результаты экспериментальных исследований коррозионной стойкости оксидно-керамических покрытий сформированных микродуговым оксидированием (МДО) на различных алюминиевых сплавах в электролите типа «KOH-H₃BO₃».

In the article the results of experimental researches of corrosive firmness of oxide-ceramic coverages are resulted formed the microark oxidizing (MAO) on different aluminium alloys in the electrolyte of type of «KOH-H₃BO₃».

Ключевые слова: абсорбционные холодильники, коррозия, оксидно-керамические покрытия, алюминиевые сплавы.

Одним из существенных недостатков абсорбционных холодильников является повышенная, по сравнению с компрессионными аналогами, металлоемкость. Одним из путей ее снижения является переход от низколегированных сталей, которые в настоящее время используются при изготовлении абсорбционных холодильников, к алюминиевым сплавам [1, 2].