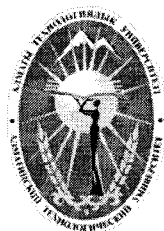


ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА  
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION



V ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2015»  
V МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2015»  
V INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE  
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2015»

Конференция баяндамаларының жинағы

19 ақпан, 2015 ж.

Сборник докладов конференции

19 февраля 2015 г.

Proceedings of the Conference

February 19, 2015

Алматы, 2015

УДК 621.56/59 (063)  
ББК 31.397  
К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией доктора химических наук,  
академика **Кулажанова К.С.**

**Редакционная коллегия:**

Цой А.П., Кизатова М.Ж., Бараненко А.В.,  
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2015: Сборник докладов международной научно-технической конференции (19 февраля 2015 г.) – Алматы: АТУ, 2015. – 152 с.

ISBN 978-601-263-312-2

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований ученых и специалистов Казахстана, Германии, России, Японии и Украины по направлениям: теплоснабжения, кондиционирования и экологии.

Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также гостиничном бизнесе и спортивных комплексах.

УДК 621.56/59(063)  
ББК 31.397

ISBN 978-601-263-312-2

©АТУ, 2015

УДК 621.575

**ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ ХОЛОДИЛЬНОЙ КАМЕРЫ БЫТОВОГО АБСОРБЦИОННОГО  
ХОЛОДИЛЬНОГО ПРИБОРА**

*Г.М. Редунов, А.О. Холодков, А.С. Титлов*

*Одесская национальная академия пищевых технологий, Министерство образования и науки Украины*

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 ( $T_0, \tau_0$ ). 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. Полученная в результате эксперимента (экспериментальная ПХ) и ПХ моделей приведены на рис. 1 и рис. 2.

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.

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

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

$$R = \min \frac{1}{t_k} \int |\Theta_{\text{э}}(t) - \Theta_{\text{мм}}(t)| dt$$

;  $R_1=0,56 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $R_2=0,38 \text{ }^\circ\text{C}$ ; (\*\*\*)

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

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

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:

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

а) для модели 1-го порядка:

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

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

б) для модели 2-го порядка:

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

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

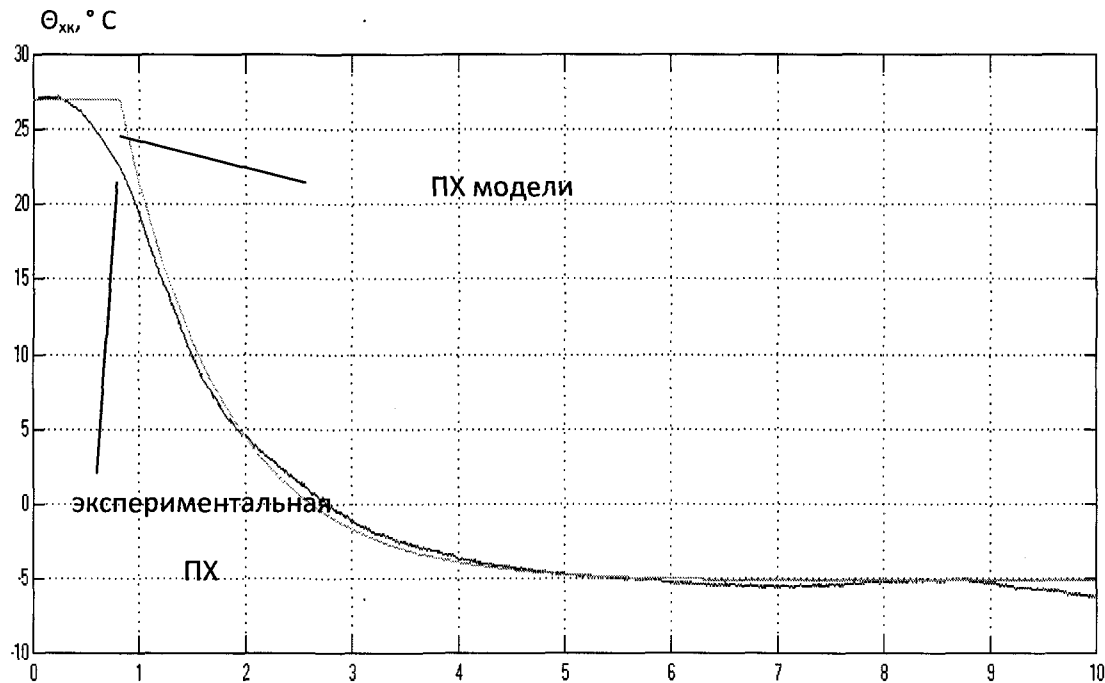


Рисунок 1 – Результаты моделирования экспериментальной ПХ и ПХ модели 1-го порядка

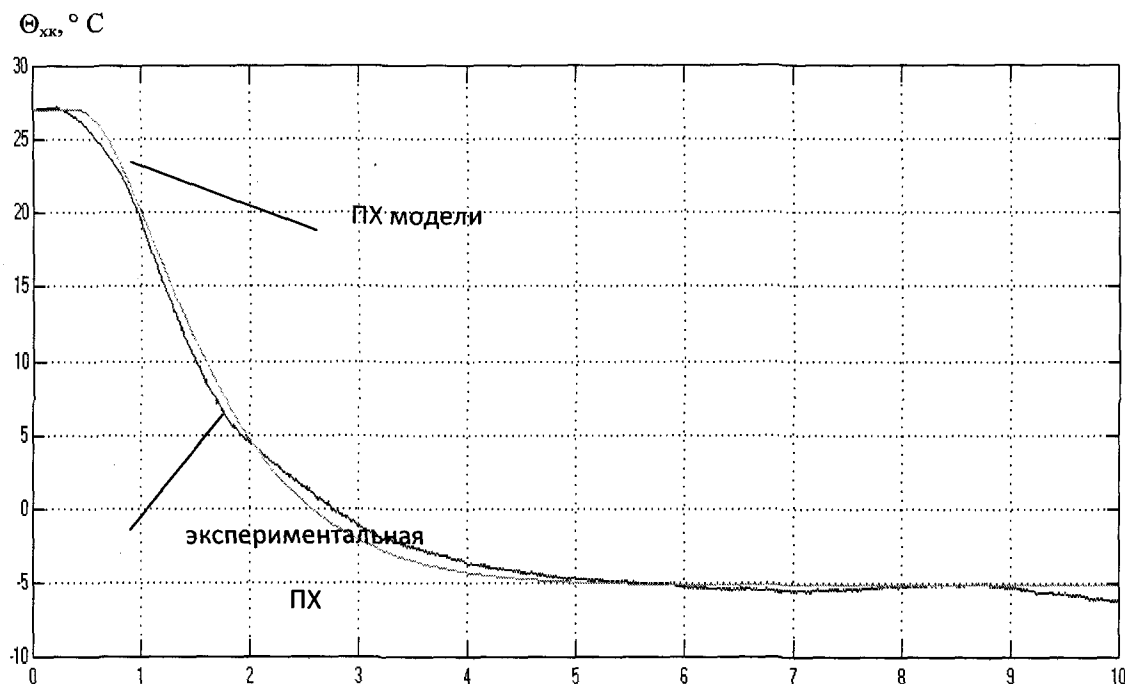


Рисунок 2 – Результаты моделирования экспериментальной ПХ и ПХ модели 2-го порядка

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

Таким образом:

$k_o = -0,23$  – коэффициент передачи объекта;  $T_o = 6540$  с – постоянная времени инерционности объекта;  $\tau_o = 4300$  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) (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):

$$u(t) = k_p \cdot \Delta y(t) + u(0); W_{PI}(p) = k_p,$$

где  $k_p$  – коэффициент передачи регулятора.

ПИ-регулятор:

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

Где  $T_u$  – постоянная времени интегрирования регулятора.

ПД-регулятор:

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

Где  $T_{np}$  – постоянная времени предварения регулятора.

Для ПИД алгоритма:

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

$$W_{ПИД}(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_u p} + T_{np} p \right)$$

Формулирование цели исследования.

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

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

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  $\Delta y$  «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  $\Delta \dot{y}^2(t)$ .

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.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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