УДК 62-533.6:62-541.2:681.5.013:681.542.4

# СИСТЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ С РЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Д.В. Чайка, В.М. Тимощенко, К.С. Епифанов*

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"*

В статье представлено обоснование использования релейной системы регулирования для технологического кондиционирования климатической камеры. Приведена математическая модель системы и экспериментальные данные. Подтверждена работоспособность климатической камеры с релейной системой регулирования.

* * *

У статті подано обгрунтування використання релейної системи регулювання для технологічного кондиціонування кліматичної камери. Наведено математичну модель системи і експериментальні дані. Підтверджено працездатність кліматичної камери з релейною системою регулювання.

* * *

In article, the substantiation of use of relay regulation system for technological conditioning for the climatic chamber is submitted. The mathematical model of system and experimental data is given. Serviceability of the climatic chamber with relay regulation system is confirmed.

Система технологического кондиционирования предназначена для поддержания параметров воздуха (температуры T и относительной влажности φ) в климатической камере в заданных пределах.

В настоящее время в системах технологического кондиционирования, сушильных установках с высокой точностью поддержания параметров контролируемой атмосферы применяют преимущественно систему плавного изменения параметров с помощью пропорциональных, интегральных, дифференциальных и комбинированных регуляторов. Основным преимуществом такой системы по сравнению с релейной является более высокое качество регулирования. Однако стоимость, энергопотребление и эксплуатационные затраты такой системы зачастую существенно выше релейной. Кроме того, значительное усложнение конструкции приводит к увеличению вероятности отказов. Поэтому при технически и экономически грамотном проектировании системы технологического кондиционирования становится выгодным использование релейной системы регулирования, особенно для установок небольшой мощности. В литературе широко представлен синтез систем автоматического регулирования (САР) с линейными элементами [4, 5]. Однако для релейных систем известные аналитические методики анализа САР не пригодны. Применение классических численных методик оптимизации, в частности метода наименьших квадратов, осложняется тем, что зависимость функционала качества релейной САР от параметров САР претерпевает разрывы, поэтому задача развития методик синтеза САР с релейными элементами является безусловно актуальной.

В данной статье представлено решение задачи синтеза релейной САР климатической камеры для технологического кондиционирования.

При решении задачи оптимизации САР выгодно использовать адекватную математическую модель, описывающую теплогидравлические процессы в системе. Моделирование целесообразно вести с использованием методики системного моделирования, что позволяет решить задачу оптимизации с минимальными затратами времени и средств. Принципиальная схема климатической камеры показана на рис.1. Климатическая камера представляет собой негерметичный объем, в котором находится продукт хранения. Рабочим телом в камере является влажный воздух. Он представляет собой двухкомпонентную смесь, состоящую из сухого воздуха и водяного пара.

© Д.В. Чайка, В.М. Тимощенко, К.С. Епифанов

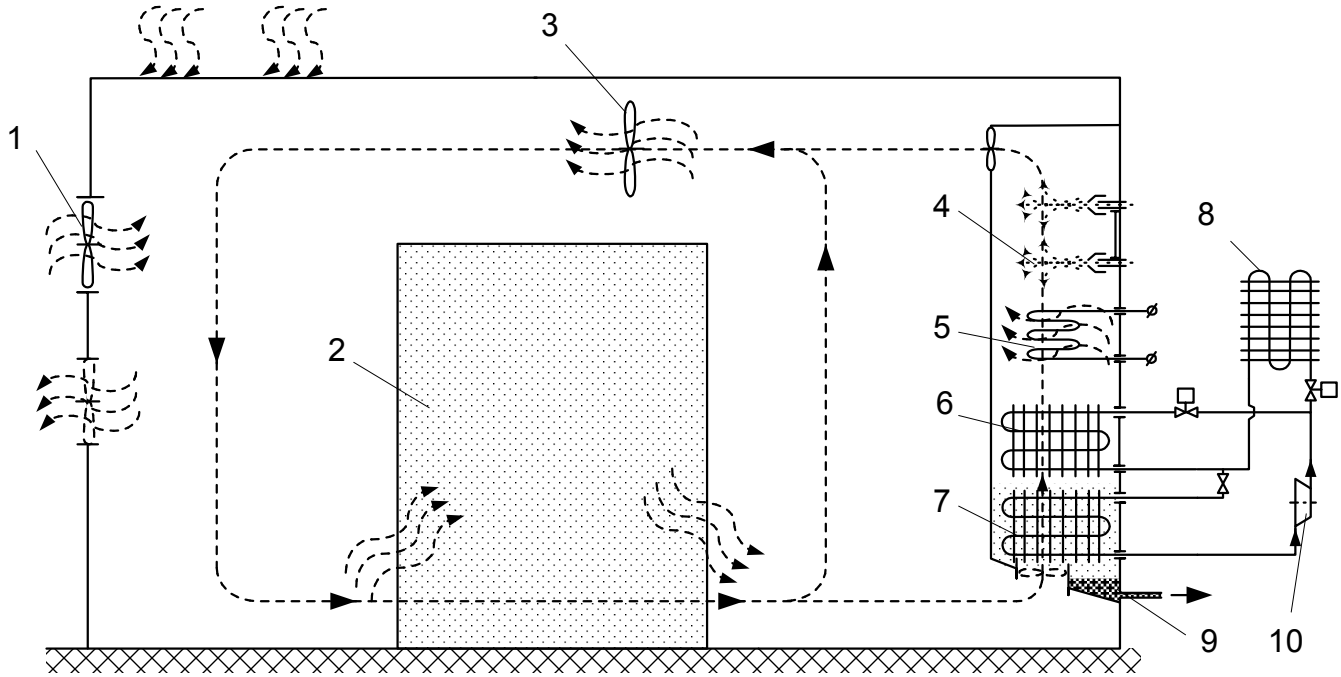



Рис.1. Принципиальная схема климатической камеры: 1 - приточно-вытяжная вентиляция; 2 - продукт; 3 - циркуляционный вентилятор; 4 - увлажнители; 5 - электрические нагреватели; 6 - конденсатор холодильной машины, используемый в режиме теплового насоса; 7 - испаритель холодильной машины; 8 - конденсатор холодильной машины, используемый в режиме охлаждения; 9 - поддон для сбора конденсата; 10 - холодильный компрессор.

В камере поддерживается непрерывная циркуляция воздуха. В результате образования градиента температуры и влажности на поверхности продукта и в воздухе происходят процессы тепло- и массообмена между воздухом и продуктом. Регулирование температуры и влажности в камере осуществляется:

- принудительной вентиляцией;
- холодильной машиной, которая используется как охладитель – осушитель;
- работой холодильной машины в режиме теплового насоса;
- нагревателем;
- увлажнителем.

Воздух в камере обменивается теплом через стены с окружающей средой. Вследствие негерметичности камеры при нагреве или охлаждении воздуха в камере происходит его частичный сброс в атмосферу или подвод из атмосферы, так что давление в камере всегда равно атмосферному.

Такая камера моделируется методом идеализированных элементов. При таком подходе воздух климатической камеры моделируется с помощью контрольных объемов, ветвей и тепловых проводников. Контрольные объемы характеризуют способность различных участков климатической камеры накапливать массу и энергию и характеризуются удельной внутренней энергией смеси, массой водяного пара и сухого воздуха. Ветвь переносит массу и энергию между контрольными объемами и характеризуются массовым расходом смеси. Тепловые проводники переносят теплоту и характеризуются тепловыми потоками. Вместо физических элементов вводим контрольные объемы с ветвями и тепловыми проводниками. Таким образом, климатическая камера моделируется с помощью одного нестационарного контрольного объема (2) и восьми нулевых фиктивных контрольных объемов, в которых не происходит накопления массы и энергии.

Совокупность идеализированных элементов образует нодализационную схему или топологический образ математической модели. Топологический образ математической модели климатической камеры имеет вид, показанный на рис.2.

В качестве управляющих воздействий были приняты:

- включение и выключение холодильной машины;
- включение и выключение электронагревателя;
- впрыск водяного пара.

Другие возможные управляющие воздействия в данном случае не используются. Принятая программа управления изображена на рис.3.

Логика управления такова. В начале работы все агрегаты, оказывающие управляющие воздействия, отключены. В процессе работы в каждый момент времени проводят измерения параметров потока воздуха, обдувающего продукт. Затем оценку принадлежности точки с измеренными параметрами областям, изображенным на рис.3. Если точка принадлежит области «включение», то подается команда на включение соответствующего агрегата; если точка принадлежит области «выключение», то подается команда на выключение соответствующего агрегата. В ином случае режим работы (или останова) агрегата не изменяется.

На рис.4 показаны изменения температуры и влажности воздуха в климатической камере, полученные с помощью математической модели.

Видно, что после выхода системы на рабочий режим параметры воздуха остаются в установленных пределах.

Однако при этом не контролируется число срабатываний регулирующих органов. В реальных же условиях, число пусков-остановов компрессора холодильной машины не должно превышать пятисеми в час.

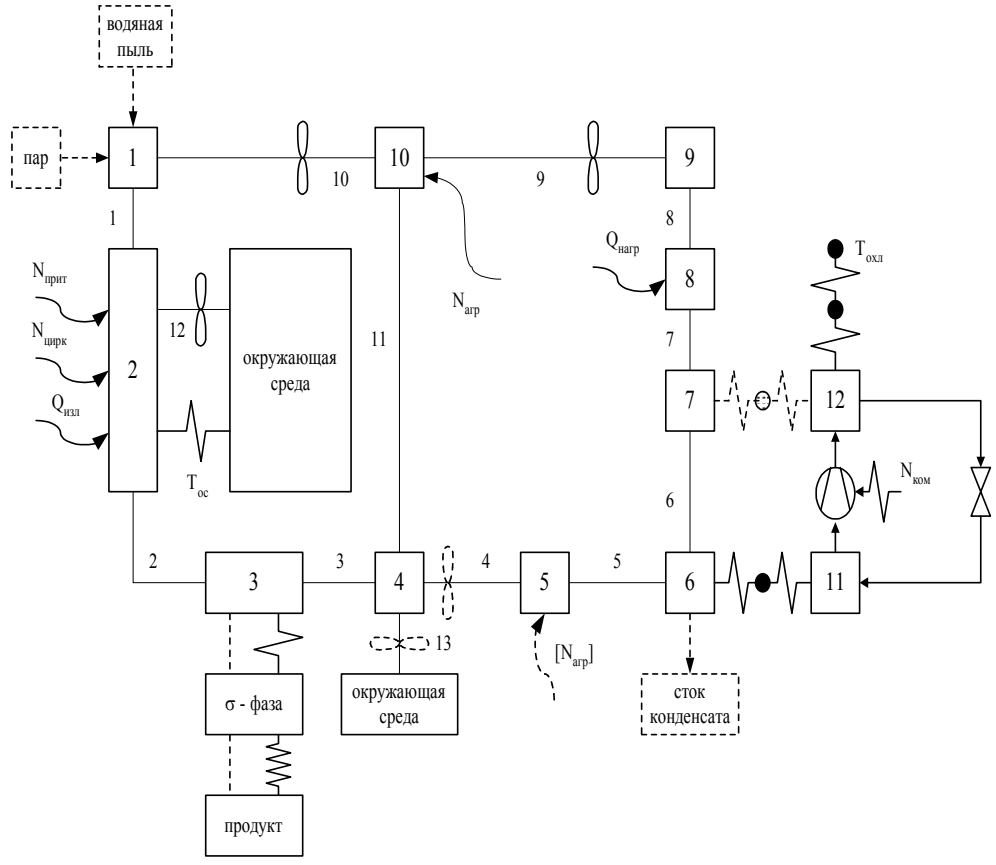



Рис.2. Топологический образ математической модели климатической камеры

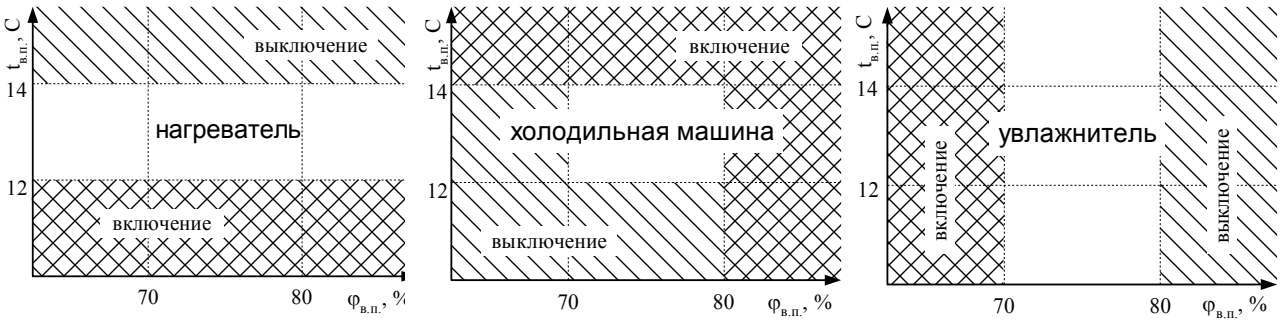
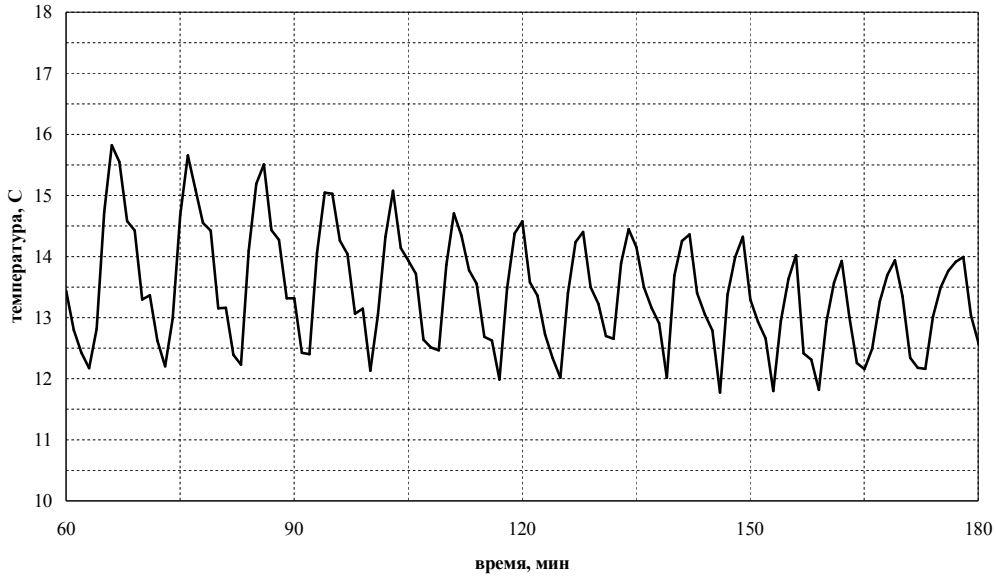
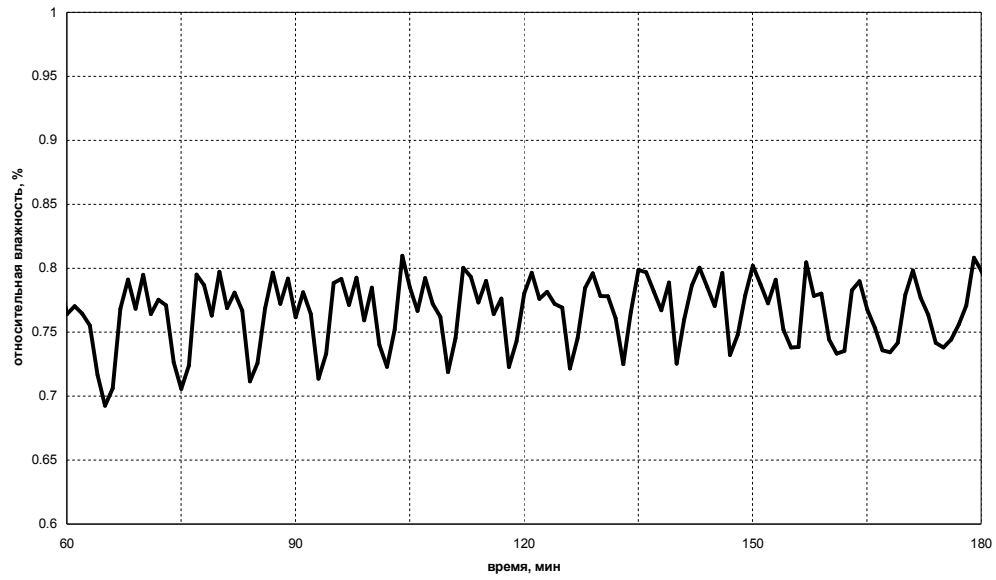



Рис.3. Принятая программа регулирования




**а**




**б**

Рис.4. Изменение параметров воздуха в климатической камере, полученное с помощью математической модели:
а – изменение температуры; б – изменение относительной влажности

Рис. 5 иллюстрирует влияние ограничения числа пусков – остановов компрессора холодильной машины на качество регулирования. Реализация ограничения приводит к выходу поддерживаемых параметров за заданный диапазон. Следовательно, климатическая камера с релейной САР будет рабо-

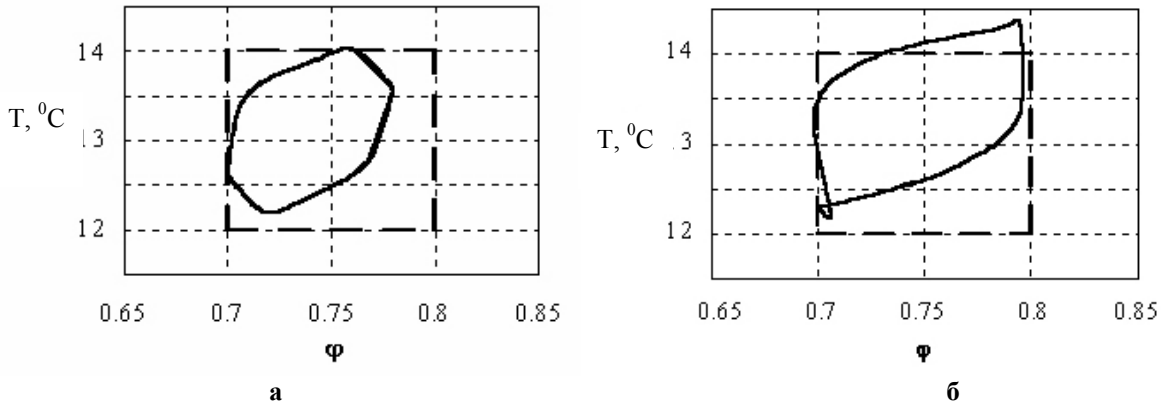



Рис. 5. Фазовая траектория: а – нет ограничения на число пусков – остановов компрессора холодильной машины; б – минимальное время останова компрессора холодильной машины - 5 мин.

тоспособна, если ее объем и теплоизоляция при выключенном компрессоре холодильной машины за минимальное время простоя компрессора не позволяет регулируемым параметрам выйти за диапазон, заданный техническим заданием.

Для верификации математической модели и проверки работоспособности камеры с релейной САР был проведен ряд экспериментов на базе Национального аэрокосмического университета "ХАИ" и ЗАО "Волчанский мясокомбинат". Было проанализировано поведение системы кондиционирования при двух вариантах климатической камеры: камера объемом 180 м$^3$ и камера объемом 40 м$^3$. На рис.6. показано изменение параметров воздуха в большой и малой камерах при одинаковых условиях окружающей среды.

Как видно из приведенных графиков, параметры воздуха в малой камере (рис.6, а) кратковременно выходят за установленные пределы (T=13 ± 1$^0$C; φ=75 ± 5%) по причине реализации ограничения количества пусков-остановов холодильной машины. Параметры воздуха в большой камере (рис.6, б) за время останова оборудования остаются в требуемом диапазоне.

**Заключение**

Результаты экспериментов совпадают с данными, полученными с помощью математической модели, и, таким образом, подтверждают ее адекватность, а следовательно, и работоспособность климатической камеры с релейной системой автоматического регулирования.

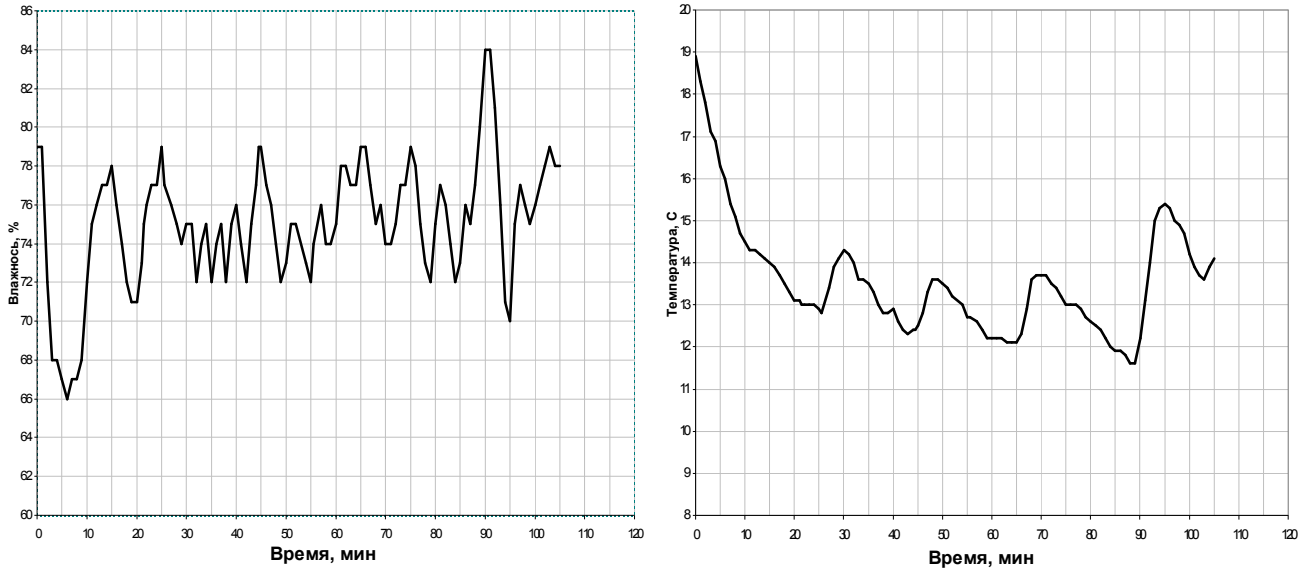
Поэтому использование климатических камер с релейной САР может быть перспективным с точки зрения минимизации приведенных затрат.

**Литература**

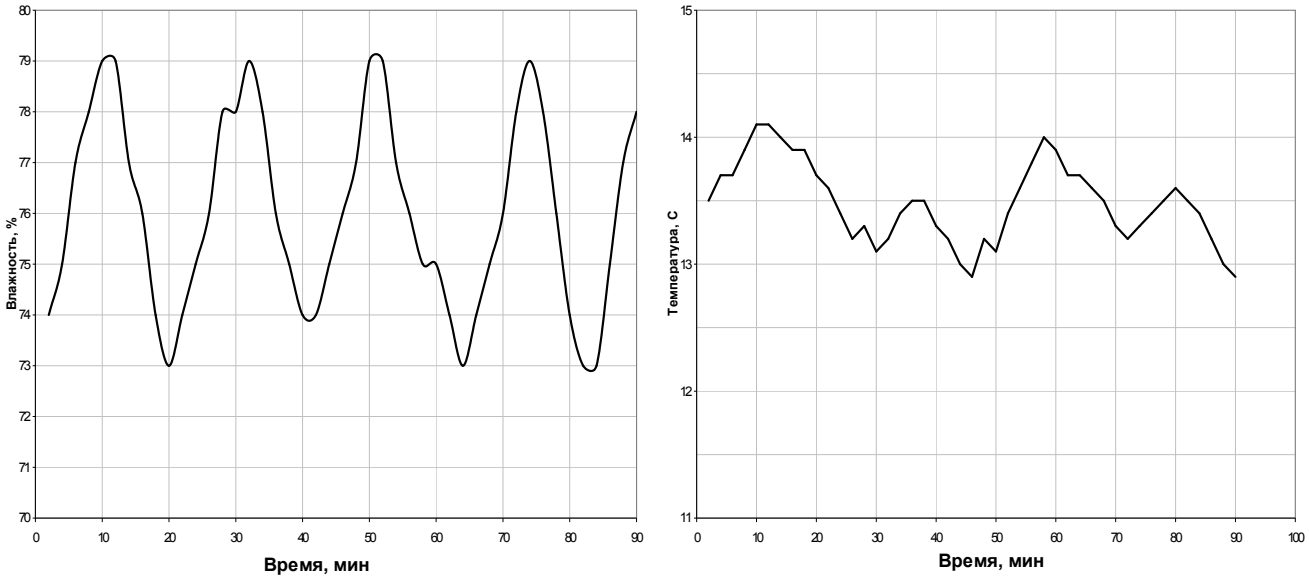
1. Горбенко Г.А., Гакал П.Г. Математическое и физическое моделирование сложных теплоэнергетических систем // Удосконалення турбоустановок методами мат. і фіз. моделювання: Зб. наук. праць. – Х., ІПМаш НАН України, 2000. С. 69 – 75.

2. Ганжа Е.П. Влияние выпадения влаги на теплообмен при течении влажного воздуха в трубчато-пластинчатом теплообменнике // Інтегровані технології та енергозбереження. - 2000. - № 2. – С.7 – 13.

3. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика – М.: Энергия, 1974. – 448 с.




**а**




**б**

Рис.6. Изменение параметров воздуха в климатической камере, полученное в результате эксперимента:
а – камера, объемом 40 м$^3$; б – камера, объемом 180 м$^3$.

4. Бесикерский В. А., Попов Е.П. Теория автоматического регулирования. - М.: Наука, 1972. - 768 с.

5. Арховский В.Ф., Серегин Ю.Н. Основы автоматического регулирования.- М.: Машиностроение, 1974.- 208 с.

*Поступила в редакцию 15.01.03*

**Рецензенты:** д-р техн. наук, профессор Соловей В.В., Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного Национальной Академии Наук Украины, г. Харьков; канд. техн. наук, доцент Гакал П.Г., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков.