

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

**Н.А. Пищанська**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРИМІЩЕННЯ ІЗ КОНДИЦІОНУВАННЯМ ІЗ УРАХУВАННЯМ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗОВНІШНІХ І ВНУТРІШНІХ ТЕПЛОВОЛОГІСНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

*У статті автором розглянуто приміщення, що кондиціонується, з нестационарними тепловлажностними навантаженнями. Була запропонована математична модель, що дозволяє проаналізувати роботу СКП залежно від інтенсивності зміни тепло- і вологонадходжень усередині приміщення. У вигляді прикладу розглянуто приміщення офісного призначення, для якого розрахований час досягнення необхідних параметрів.*

**Ключові слова:** Кондиціонування – Тепловологісне навантаження – Параметри повітря – Температура – Відносна вологість – Витрата повітря – Математична модель.

**Н.А. Пищанская**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНДИЦИОНИРУЕМОГО ПОМЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ НАГРУЗОК**

*В статье автором рассмотрено кондиционируемое помещение с нестационарными тепловлажностными нагрузками. Была предложена математическая модель, позволяющая проанализировать работу СКВ в зависимости от интенсивности изменения тепло- и влажностных поступлений внутри помещения. В виде примера рассмотрено помещение офисного назначения, для которого рассчитано время достижения необходимых параметров.*

**Ключевые слова:** Кондиционирование – Тепловлажностная нагрузка – Параметры воздуха – Температура – Относительная влажность – Расход воздуха – Математическая модель.

**N.A. Pishchanskaya**

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaja str., Odessa, 65039

### **MATHEMATICAL MODEL OF THE CONDITIONED ROOM TAKING INTO ACCOUNT NON-STATIONARY EXTERNAL AND INTERNAL HEATMOIST LOADINGS**

*In article the author considered the conditioned room with non-stationary heatmoist loadings. The mathematical model, allowing to analyse the hard currency work depending on intensity of change of warm and moisture receipts indoors was offered. In the form of example the room of office appointment for which it is calculated time of necessary parameters achievement is considered.*

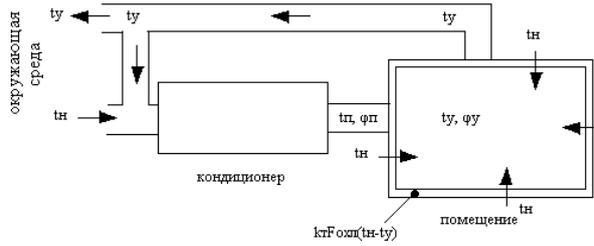
**Keywords:** Conditioning – Heatmoist loading – Air parameres – Temperature – Relative humidity – Air consumption – Mathematical model.

## **I. ВВЕДЕНИЕ**

Системы кондиционирования воздуха обеспечивают необходимые тепловлажностные условия в помещении. Речь может идти о комфортном кондиционировании (жилые, офисные, административные и т.д. здания) или о технологическом (производственные помещения, помещения специального назначения и т.п.). Начальной информацией, которой необходимо располагать при проектировании СКВ, а в дальнейшем и ее управлении, это – тепло- и влагоизбытки (потери) помещения. Тепло- и влагоизбытки будут зависеть от ряда внешних и внутренних тепловлажностных нагрузок. Внешние нагрузки оказывают влияние на тепловлажностное состояние помещения через внешние ограждения (кровля, стены, окна, пол), а также

посредством инфильтрации, проникновения внешнего некондиционируемого воздуха при открывании проемов, а также через щели и неплотности.

Главное влияние на величину внешних нагрузок оказывают гидрометеорологические условия расположения объекта. Для условий Украины средняя температура наружного воздуха может колебаться в среднем от 25 до 35°C в теплый период года и от -5 до -25°C в холодный. Температура наружного воздуха изменяется в зависимости от времени суток, года, гидрометеорологических условий данного часа. Неодинаковы показатели солнечной радиации, которые также должны учитываться. К внутренним нагрузкам относятся тепло и влаговыведения от оборудования внутри помещения и от находящихся в нем людей.



**Рисунок 1** – Схема движения воздушных потоков в системе кондиционер-помещение

## II. ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОМЕЩЕНИЯ С НЕСТАЦИОНАРНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Для характеристики помещения используют уравнения тепловлажностного баланса.

Начальное уравнение влажностного баланса имеет вид:

$$M \left( \frac{\partial d_y}{\partial \tau} \right) = G_n \cdot (d_n - d_y) \pm G_n \cdot (d_y - d_n),$$

$M$  – масса воздуха в помещении, кг,

$\varphi = \frac{d}{d_n}$  – относительная влажность воздуха,

$d_n, d_n, d_y$  – влагосодержание наружного воздуха, приточного и внутри помещения соответственно кг/кг,

$G_n$  – расход приточного воздуха в системе, кг/с,

$G_n$  – расход наружного воздуха, кг/с.

Решая данное уравнение, используем следующую форму записи НДУ:

$$M \cdot d_n \frac{d\varphi_y}{d\tau} = G_n d_n - G_n d_n \varphi_n \pm G_n d_n \varphi_n \mp G_n d_n,$$

$$\varphi_n(\tau) = \varphi_{ny} + \varphi_{nc}(\tau),$$

$$\varphi_{ny} = \frac{G_n \cdot d_n \mp G_n \cdot d_n}{d_n \cdot (G_n \mp G_n)}$$

$$\varphi_{nc}(\tau) = A \cdot e^{k \cdot \tau},$$

Постоянную интегрирования  $A$  находим с учетом ННУ, когда  $\tau = 0$

$$A = \varphi_{nc} - \frac{G_n \cdot d_n \mp M_n \cdot d_n}{d_n \cdot (G_n \mp G_n)}$$

Полное решение по относительной влажности воздуха:

$$\varphi(\tau) = \varphi_{nc}(0) \cdot e^{-\frac{G_n \pm G_n}{M} \tau} + \frac{G_n \cdot d_n \mp G_n \cdot d_n}{d_n \cdot (G_n \mp G_n)} \cdot (1 - e^{-\frac{G_n \pm G_n}{M} \tau})$$

Аналогичные действия выполняются для уравнения теплового баланса помещения:

$$M \cdot C_e \frac{\partial t_y}{\partial \tau} = G_n \cdot C_e (t_n - t_y) \pm Q_{инф}$$

НДУ будет иметь вид:

$$M_e \cdot C_e \cdot \frac{dt_y}{d\tau} + G_n \cdot C_e \cdot t_y \pm k_m \cdot F_{охл} \cdot t_y = G_n \cdot C_e \cdot t_n \pm k_m \cdot F_{охл} \cdot t_n$$

$C_e$  – теплоемкость воздуха, кДж/кгК

$k_m$  – теплопередача стенки помещения, Вт/м<sup>2</sup>К

$t_y, t_n$  – температура воздуха внутри помещения и температура приточного воздуха соответственно, °С  
 $F_{охл}$  – поверхность объема помещения, через которую осуществляется проникновение наружных теплоизбытков, м<sup>2</sup>

Полное решение НДУ:

$$t_n(\tau) = t_{ny} + t_{nc}(\tau)$$

$$t_{ny} = \frac{G_n \cdot C_e \cdot t_n \pm k_m \cdot F_{охл} \cdot t_n}{G_n \cdot C_e \pm k_m \cdot F_{охл}}$$

$$t_{nc}(\tau) = B \cdot e^{P \cdot \tau}$$

Постоянную интегрирования  $B$ , аналогично выше проделанным действиям, находим с учетом ННУ, когда  $\tau = 0$

$$B = t_n(0) - \frac{G_n \cdot C_e \cdot t_n \pm k_m \cdot F_{охл} \cdot t_n}{G_n \cdot C_e \pm k_m \cdot F_{охл}}$$

Полное решение по температуре воздуха:

$$t(\tau) = t_{nc}(0) \cdot e^{-\frac{(G_n \cdot C_e \pm k_m \cdot F_{охл}) \cdot \tau}{M_e \cdot C_e}} + \frac{G_n \cdot C_e \cdot t_n \pm k_m \cdot F_{охл} \cdot t_n}{G_n \cdot C_e \pm k_m \cdot F_{охл}} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{(G_n \cdot C_e \pm k_m \cdot F_{охл}) \cdot \tau}{M_e \cdot C_e}} \right)$$

## III. РАСЧЕТ ПОМЕЩЕНИЯ

Для примера расчета рассмотрим помещение офисного назначения, расположенного в г.Одессе.

Примем следующие исходные данные:

- $F = 50 \text{ м}^2$  – общая площадь;
- $h = 3,5 \text{ м}$  – высота стен в помещении;
- $n_{л} = 10$  – количество людей в помещении;
- $n_{обор} = 10$  – количество единиц оборудования (в частности компьютеров).

С учетом обобщенных данных по освещению, площади ограждающих конструкций помещения, а также количества людей и компьютеров в нем, имеем возможность вычислить расход приточного воздуха от системы кондиционирования:  $G_n = 0,196 \text{ кг/с}$ .

Температура наружного воздуха, согласно СНиП –  $t_n = 29^\circ\text{C}$  (для теплого периода года, параметры Б), температуру воздуха в помещении принимаем  $t_y = 23^\circ\text{C}$ , температура приточного воздуха  $t_n = 18^\circ\text{C}$ .

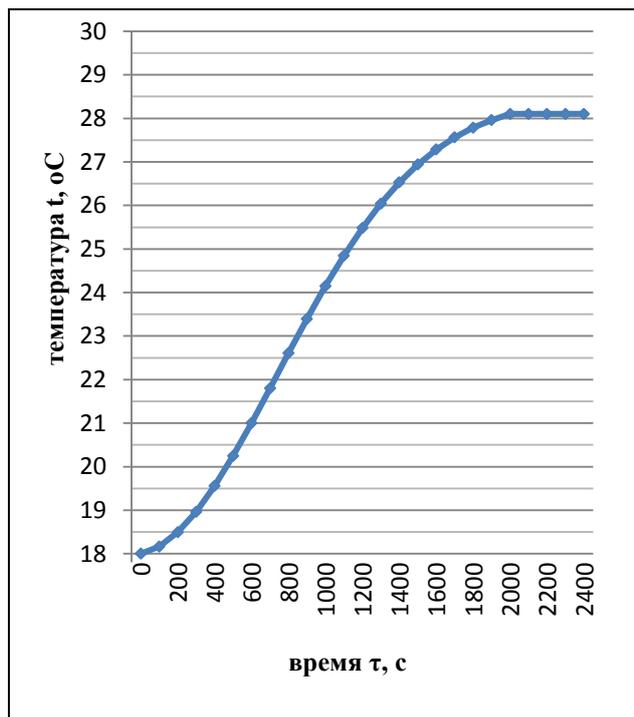


Рисунок 2 – Интенсивность изменения температуры приточного воздуха.

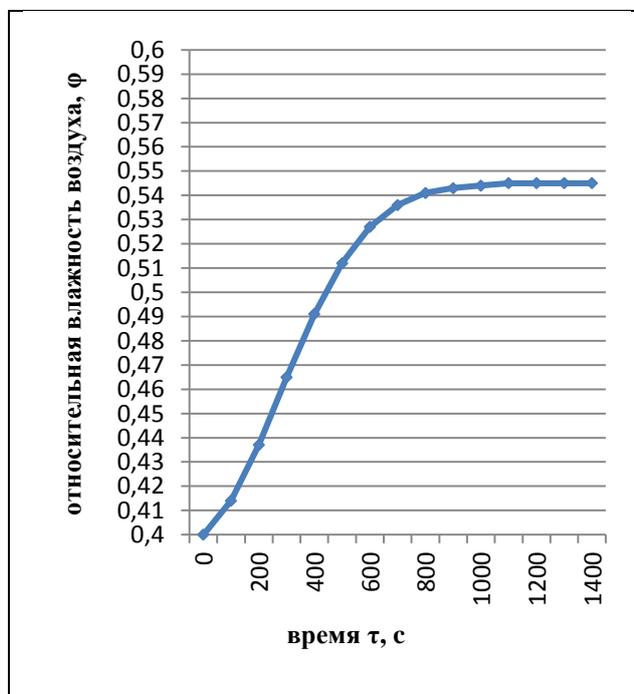


Рисунок 3 – Интенсивность изменения относительной влажности воздуха.

Предложенная математическая модель позволяет отслеживать влияние изменения начальных параметров наружного воздуха, тепловлажностной нагрузки помещения на работу системы кондиционирования воздуха. Имеет ряд преимуществ:

- может учитывать индивидуальные особенности нагрузок помещения любого назначения;
- имеем возможность оценить эффективность использования конкретной системы кондиционирования в данных условиях;

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Липа О.І., Подмазко Н.О., Аль-Сагаф М.А.** Аналіз сучасних проблем вологісної обробки повітря в системах комфортного кондиювання. Збірник наукових праць 3-ї міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». — Одеса, 2003, с. 51 — 56.
2. **Пищанская Н.А.** Экспериментальное исследование пленочных увлажнителей в режиме полного безостаточного испарения. Збірник тез доповідей. Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», ОДАХ, 2011, с. 85 — 86.
3. **Пищанская Н.А.** Исследование режима увлажнения воздуха с импульсным орошением насадок. Тезисы докладов. «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур», Москва, 2011, с. 34 — 37.
4. **Вычужанин В.** Модель кондиционируемого помещения при нестационарных тепловлажностных нагрузках. Специализированный журнал СОК, Киев, 2006, с. 62-64.

#### REFERENCES

1. **Lipa O.I., Podmazko N.O., Al-Sagaf M.A.** Analiz Suchasni problems vologisnoi obrobki povitrya systems konditsionuvannya comfortable. Collection of scientific works-3-Ji mizhnarodnoi naukovi tehnichnoi konferentsii "Suchasni problemi i holodilnoi tehniki tehnologii." – Odessa, 2003, l. 51-56.
2. **Pishchanskay N.A.** Experimental study of film dampers in full residue-free evaporation. Zbirnik mes dopovidey. Vseukraïnska naukovyi-tehnichna konferentsiya young vchenih that studentiv "Stan dosyagnennya i prospects holodilnoi tehniki i tehnologii", OSAR, 2011, l. 85-86.
3. **Pishchanskay N.A.** Investigation of the air humidification pulsed irrigation nozzles. Abstracts. "Innovative developments in the field of technology and low-temperature physics", Moscow, 2011, l. 34 – 37.
4. **Vychuzhanin V.** Model conditioned space at non-stationary heat and humidity loads. Specialized magazine SOK, Kiev, 2006, l. 62 -64.

#### IV. ВЫВОДЫ

**MATHEMATICAL MODEL OF THE CONDITIONED ROOM TAKING INTO ACCOUNT NON-STATIONARY EXTERNAL AND INTERNAL HEATMOIST LOADINGS**

*In the article the author discussed the conditioned space with unsteady heat and humidity loads. The proposed mathematical model allows to analyze the work of SLE depending on the intensity of heat and moisture receipts changes indoors. As an example, putting the office of destination, for which calculated the time to reach the required parameters was considered. This work represents a significant practical interest. Possibility of a mathematical model allows taking into consideration all features of warmth and moisture receipts indoors. Their character changes and the impact on indoor air as well. It is also possible to analyze the advantages and disadvantages of specific conditions for the particular mode of treatment in air conditioner, consider the different types of air-conditioning. Exploring the time to reach the air parameters (temperature, relative humidity) set points allow to talk about the efficiency of the air conditioning system. Mathematical model uses different combinations of source data, including outdoor climate parameters, geographical location of the facility conditions, non-stationary location (ships, rail and other modes of transport), where it will go about providing air microclimate. Accordingly calculation method can be adapted to almost any situation. The calculations on the example of office space shows the performance of the system to effectively promote the necessary parameters of indoor air.*

**Keywords:** *Conditioning – Heatmoist loading – Air parameres – Temperature – Relative humidity – Air consumption – Mathematical model.*

---

Отримана в редакції 06.02.2014, прийнята до друку 04.03.2014