

УДК 004.9:681.53

С. Г. Антощук, д-р техн. наук,
Н. И. Бабич

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ САПР СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Аннотация. Проведен анализ существующих подходов для обеспечения комфортных условий в обитаемом помещении с учетом индивидуальных характеристик человеческого организма и необходимости минимизации энергозатрат. Разработан критерий эффективности «комфорт-энергозатраты». Предложено для формирования исходных данных на начальном этапе проектирования систем кондиционирования воздуха учитывать как индивидуальные характеристики человека, так и нормативные документы.

Ключевые слова: система автоматизации проекторочных работ (САПР), комфортные условия, индивидуальные характеристики, оценка, критерий эффективности, обитаемое помещение, системы кондиционирования воздуха

S. Antoshuk, ScD.,
N. Babich

MODEL OF COMFORTABLE CONDITIONS ASSESSMENT WHILE FORMING BASIC DATA FOR AIR CONDITIONING SYSTEMS CAD

Abstract. An analysis of existing models and approaches to ensure comfort in the crew room to suit the individual characteristics of the person and the need to minimize energy costs. Designed efficiency criterion of "comfort-energy." Proposed for the formation of the initial data on the initial design of air conditioning systems to take into account both the individual characteristics of the person, and regulations.

Keywords: automation system design work (CAD), comfortable environment, individual characteristics, evaluation, efficiency criteria, habitable room, air conditioning

С. Г. Антощук, д-р техн. наук,
М. І. Бабич

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ КОМФОРТНИХ УМОВ ПРИ ФОРМУВАННІ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ САПР СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Анотація Проведено аналіз існуючих підходів для забезпечення комфортних умов у жилому приміщенні з урахуванням індивідуальних характеристик людського організму і необхідності мінімізації енерговитрат. Розроблено критерій ефективності «комфорт-енерговитрати». Запропоновано для формування вихідних даних на початковому етапі проектування систем кондиціонування повітря враховувати як індивідуальні характеристики людини, так і нормативні документи.

Ключові слова: система автоматизації проектувальних робіт (САПР), комфортні умови, індивідуальні характеристики, оцінка, критерій ефективності, жиле приміщення, системи кондиціонування повітря

Введение. Основными устройствами, которыми пользуются при обеспечении комфортных условий (КУ) в обитаемых помещениях, являются бытовые кондиционеры. Их обоснованный выбор производится либо на этапе проектирования помещения, либо при его переоснащении. Украина по объему продаж кондиционеров, который за последние годы вырос на порядок, вошла в первую десятку среди европейских стран. Это привело к увеличению энергозатрат – в настоящее время около 4 % всей производимой в Украине электроэнергии (приблизительно $6,4 \cdot 10^9$ кВтч в год) потребляется бытовыми кондиционерами, что противоречит общей политике государства, направленной

на энергосбережение [1].

Поэтому актуальным является решение противоречия между важностью создания КУ в обитаемых помещениях и необходимостью минимизации энергозатрат.

Цель данной статьи. Устранение данного противоречия возможно двумя путями: совершенствованием технических (компрессоров и теплообменников кондиционеров) средств и выбор уже на этапе проектирования оборудования и режимов его работы с учетом наилучшего соотношения «комфорт-энергозатраты». Первый путь связан со значительными затратами. Поэтому в данной статье остановимся на решении задачи реализации второго направления.

Оценка обеспечения комфортных условий

© Антощук С.Г., Бабич Н.И., 2013

Основным способом решения проблемы обеспечения комфортных условий (КУ) в обитаемых помещениях является поддержание основных параметров воздушной среды (температуры и влажности) в пределах, заданных нормативными документами. Основными устройствами, которые обеспечивают КУ, являются бытовые кондиционеры, обоснованный выбор которых производится на начальном этапе проектирования при выборе оборудования для обеспечения КУ. При выборе кондиционеров при проектировании учитывают нормативные требования (ГОСТ, СанПиН, и т.д.): размер помещения, климатическую зону и др. [2, 4, 5]. Существует ряд мощных интегрированных программных средств для моделирования и проектирования сложных систем, в том числе и систем кондиционирования воздуха (СКВ): MagiCAD, CADprofi HVAC & Piping, ACON®, e-CAD, FineHVAC и RevitMEP. Эти системы позволяют провести выбор проектных решений и их анализ на энергозатраты и обеспечение внутреннего микроклимата здания. Однако при проектировании, как правило, учитываются параметры воздушной среды, заданные нормативными документами, и не учитываются индивидуальные характеристики и потребности человека, находящегося в обитаемом помещении [3, 5, 8].

Для оценки КУ в помещении, с учетом индивидуальных характеристик, потребностей человека и требований минимизации затрат электроэнергии, предложен критерий эффективности «комфорт-энергозатраты»:

$$K_{эф} = \frac{O_k}{E_k} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где O_k – показатель комфортности, получаемый в результате экспертного оценивания КУ. Показатель O_k лежит в диапазоне от 1 (неудовлетворительные условия) до 5 (наилучшие условия);

$E_k = E_{kk} / E_{ok}$ – показатель относительных энергозатрат на обеспечение КУ (E_{ok} – энергозатраты при обычном кондиционировании; E_{kk} – при комфортном кондиционировании).

Таким образом, с учетом введенного критерия эффективности «комфорт-энерго-

затраты» при проектировании СКВ [8] с целью выбора оборудования для поддержания температуры и влажности необходимо обеспечить максимизацию показателя (1) с учетом требований нормативных документов, т.е. обеспечить наилучшее удовлетворение потребностей человека КУ ($O_k = 5$) и минимальные энергозатраты ($E = 1$). Схематическое представление такого выбора приведено на рис. 1. Выбор вектора параметров индивидуальных особенностей человека обоснован ниже.

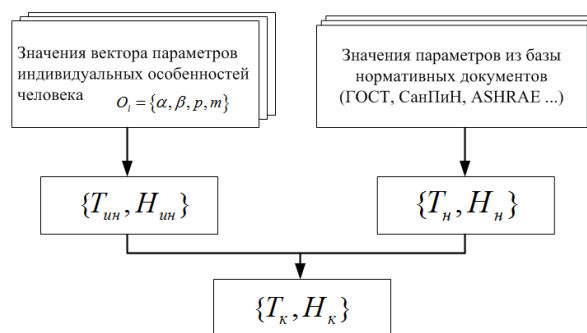


Рис. 1. Выбор КУ с одновременным учетом индивидуальных особенностей человека и нормативных документов

Оценка вектора параметров индивидуальных особенностей человека

Задаче определения численных значений параметров комфортного микроклимата посвящено большое количество исследований [6, 9–12]. Для оценки субъективных ощущений человека введены три условия комфортности.

Первое условие комфортности температурной обстановки определяет сочетание температуры внутреннего воздуха и радиационной температуры помещения, при которых человек, находясь в центре рабочей зоны помещения, не испытывает ни перегрева, ни переохлаждения.

Таким образом, первое условие комфортности, оперируя понятиями температуры внутреннего воздуха и радиационной температуры помещения, не учитывает параметр влажности и индивидуальные характеристики человека.

Второе условие комфортности определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека в непосредственной близости от

них, что соответствует границам изменения параметров, входящих в первое условие. Учитывая эти условия, можно сделать вывод, что для того, чтобы индивидуальный уровень теплопродукции соответствовал теплопотерям в окружающую среду, температура внутреннего воздуха должна учитывать индивидуальные особенности человека.

Отсюда третье условие комфортности – параметры внутреннего микроклимата должны иметь возможность индивидуального регулирования для соответствия субъективным ощущениям комфорта потребителя. Основным параметром, влияющим на теплообмен человека с окружающей средой, является температура внутреннего воздуха. Поэтому именно этот параметр внутреннего микроклимата должен иметь возможность регулироваться [1, 3, 5].

Анализ подходов к созданию и обеспечению КУ показал [6, 9 – 12], что индивидуальные особенности человека учтены только в модели, предложенной профессором О. Фангером. В этой модели человек рассматривается как часть системы регулирования, а его теплоощущения – это показатели качества условий нахождения его в помещении. В результате своих исследований О. Фангер получил уравнение энергетического баланса организма человека, которое учитывает значительное количество параметров окружающего микроклимата и индивидуальные характеристики человека:

$$\begin{aligned} & \frac{M}{A}(1-\eta) - 0,35(1,92 \times t_s - 25,3 - p_a) - \\ & - \frac{E}{A} - 0,0023 \frac{M}{A}(44 - p_a) - 0,0014 \frac{M}{A}(34 - t_a) = \quad (2) \\ & = \frac{t_s - t_{cl}}{0,18 I_{cl}} = 3,4 \times 10^{-8} f_{cl} \left[(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4 \right] + \\ & + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a), \end{aligned}$$

где M – уровень теплопродукции; A – площадь поверхности тела; η – коэффициент полезной деятельности механической работы мышц; t_s – средневзвешенная температура кожи; p_a – парциальное давление водяных паров в окружающем воздухе; E – теплопотери вследствие испарения пота; I_{cl} – термическое сопротивление от кожи до наружной поверхности одежды; f_{cl} – отношение поверхности одетого человека к поверхности

того же обнаженного человека; t_a – температура воздуха; t_{mrt} – средняя радиационная температура; h_c – коэффициент конвективного переноса тепла; t_{cl} – средняя температура наружной поверхности одетого человека [9, 10].

Несмотря на кажущуюся полноту модели Фангера, раскрывающую первое и второе условие комфортности, в ней не учтены все параметры окружающей среды, являющиеся предметом регулирования систем кондиционирования воздуха. Не учтен такой важный параметр, как относительная влажность, который способствует изменениям параметров воздушной среды и поэтому влияет на условия комфортности. Влияние влажности на организм человека неразрывно связано с температурой воздуха. При температуре воздуха выше 25°C большая влажность способствует перегреву организма вследствие затруднения отдачи тепла путем испарения воды с поверхности кожи. Даже при отсутствии видимого потоотделения (при 15 – 20° С) человек теряет через кожу около 0,4 – 0,6 л воды в сутки и с выдыхаемым воздухом – 0,3 – 0,4 л. В результате перегрева наблюдаются ухудшение самочувствия, ощущается тяжесть и духота, понижается работоспособность и т. д. [10, 11, 12].

Поэтому для удовлетворения потребностей конкретного человека, чтобы индивидуальный уровень теплопродукции соответствовал теплопотерям в окружающую среду, температура внутреннего воздуха и его относительная влажность должны устанавливаться индивидуально [6, 7]. Параметры внутреннего микроклимата должны иметь возможность индивидуального регулирования с целью соответствия субъективным ощущениям комфорта потребителя.

Основными параметрами для поддержания КУ в работе были выбраны: температура воздуха внутри помещения (T) и относительная влажность воздуха (H) [6].

Таким образом, при проектировании СКВ предложено руководствоваться не только значениями, полученными из нормативных документов, но и значениями вектора параметров на основе индивидуальных особенно-

стей человека, находящегося в обитаемом помещении:

$$O_i = \{\alpha, \beta, p, m\}, \quad (3)$$

где α – показатель, учитывающий количество тепла, выделяемого организмом человека при различных видах деятельности (сон, легкий труд, тяжелый труд); β – показатель, учитывающий теплоизолирующие свойства одежды (костюм легкий летний, костюм средней плотности, костюм зимний); p – показатель, учитывающий климатический период (холодный, умеренный, жаркий); m – показатель, учитывающий возраст человека (молодой, средний, пожилой).

Значения каждого из этих показателей были получены экспериментально и занесены в таблицы. Пример такой таблицы приведен ниже (табл. 1).

1. Показатели параметров для вектора O_i

O_i	Одежда человека (легкий костюм). Возраст человека (молодой)			
	Климатический период			
	Теплый		Холодный	
Режим работы человека организма	Т	Н	Т	Н
Сон	21	60	24	51
Легкий труд	18,5	54	20,5	47
Тяжелый труд	16,5	47	18	40

При выборе режимов работы оборудования учитываются как эти данные, так и нормативные значения из соответствующих документов. Следует отметить, что можно определить типовые вектора параметров на основе индивидуальных характеристик для проектирования систем обеспечения КУ. Для этого предложено создание ряда сценариев определения КУ по индивидуальным характеристикам. На рис. 2 представлена структура таких сценариев при создании КУ. Всего в работе предложено девять типовых сценариев, определяющих значение вектора $O_i (i = 1 - 9)$.

Определение требуемых параметров осуществляется усреднением:

$$T_{ef_i} = \frac{\{T_{\alpha_i} + T_{\beta_i} + T_{p_i} + T_{m_i}\}}{4} \quad \text{и} \quad H_{ef_i} = \frac{\{H_{\alpha_i} + H_{\beta_i} + H_{p_i} + H_{m_i}\}}{4},$$

где числа в числителе – это значения температуры и относительной влажности при соответствующих индивидуальных показателях.

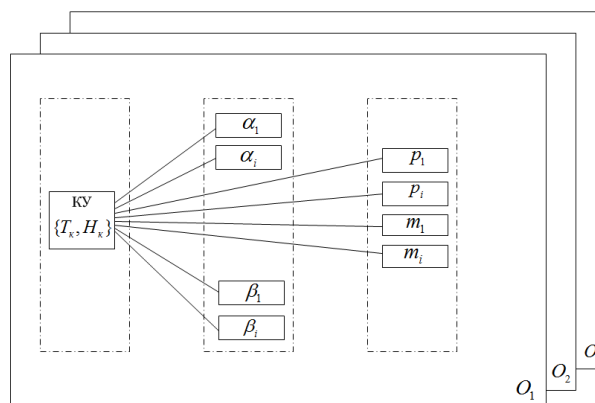


Рис. 2. Структура сценариев при создании КУ

Определение T_k и H_k осуществляется аналогично с учетом как $T_{ин}, H_{ин}$, так и T_n, H_n :

$$T_k = \frac{T_{ин} + T_n}{2} \quad \text{и} \quad H_k = \frac{H_{ин} + H_n}{2}.$$

Таким образом, при определении $\{T_k, H_k\}$ действует правило: чем меньше отклонение текущих параметров КУ от полученных в результате применения разработанного метода, тем выше степень комфорта в помещении и $\{O_k\} \rightarrow 5$.

На основе разработанной модели были получены значения критерия эффективности при использовании показателей вектора индивидуальных особенностей человека (рис. 3)

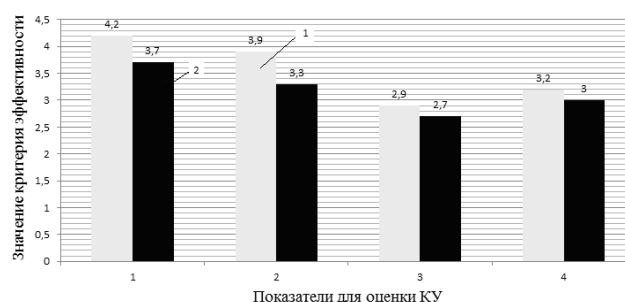


Рис. 3. Диаграмма значений критерия эффективности (1, 2, 3, 4 соответствует α, β, p, m): 1 – после применения модели, 2 – без применения модели

Выводы. Обоснована при проектировании СКВ необходимость учета как индивиду-

альных особенностей человека-потребителя, так и минимизации энергопотребления. Предложен критерий эффективности «комфорт-энергозатраты», который позволит формализовать выбор проектных решений. Разработана схема выбора параметров проектирования с учетом индивидуальных особенностей человека и предложены сценарии для оценки учета как нормативных документов, так и индивидуальных характеристик человека.

Поскольку состояние теплового комфорта во многом зависит от энергетических затрат организма, вида одежды, индивидуальных привычек человека, его образа жизни и т.д., то предложенные решения являются актуальными и могут быть использованы как на начальном этапе формирования исходных данных при проектировании СКВ, так и при проектировании систем управления для обеспечения КУ. Это позволит значительно повысить их уровень в обитаемых помещениях.

Список использованной литературы

1. Бурцев, С. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Ч. 1: Теоретические основы создания микроклимата здания / С. И. Бурцев, В. И. Полушкин, О. Н. Русак. – СПб. : Профессия, 2002. – 176 с.
2. Ананьев, В. А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика: Учебное пособие / В. А. Ананьев, Л. Н. Балужева, А. Д. Гальперин. – М. : «Евроклимат», изд-во «Арина», 2000. – 416 с.
3. Кувшинов, Ю. Я. Теоретические основы обеспечения микроклимата помещения / Ю. Я. Кувшинов. – М. : АСВ, 2007. – 212 с.
4. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
5. Кокорин, О. Я. Установки кондиционирования воздуха. Основы расчета и проектирования. Изд. 2-е, перераб. и доп. / О. Я. Кокорин. – М. : Машиностроение, 1978. – 264 с.
6. Антощук, С. Г. Модель автоматизации процессов поддержания теплового комфорта в обитаемом помещении [С. Г. Антощук, Н. И. Бабиц, В. Г. Панов, Л. Ф. Бурдыка] – Холодильна техніка і технологія. – 2012. – № 1 (135). – С. 54 – 59.

7. Антощук, С. Г. Средства повышения энергоэффективности при автоматизации процессов поддержания КУ в обитаемом помещении / С. Г. Антощук, Н. И. Бабиц // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2012. – № 05 (81). – С.52 – 57/

8. Краснов, Ю. С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке / Ю. С. Краснов, А. П. Борисоглебская, А. В. Антипов. – М. : ТермоКул, 2004. – 373 с.

9. Fanger, P. O. *Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering* / P. O. Fanger. – Danish Technical Press. – Copenhagen : – 1970. – P. 88 – 90.

10. Fanger, P. O. *Calculation of Thermal Comfort: Introduction of a Basic Comfort Equation* / P. O. Fanger. – ASHRAE Trans. – 1967. – Vol. 73. – Pt. 2.

11. ASHRAE. *Physiological Principles for Comfort and Health. 1985 Fundamental Handbook*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. – Atlanta, GA, 1985. – Chapter 8,18.

12. Berglund, L. *Mathematical Models for Predicting the Thermal Comfort Response of Building Occupants* / L. Berglund. – ASHRAE Trans. – 1978. – Vol. 84.

Получено 05.04.2013

References

1. Bourtsev, S. Heating, ventilation and air-conditioning. Part 1: The theoretical basis for the creation of microclimate of the building / S. Bourtsev, V. Polushkin, O. Rusak.– St. Petersburg : Business, 2002. –176 p. [in Russian].
2. Ananev, V. HVAC system. Theory and Practice: Textbook / V. Ananev, L. Balueva, A. Halperin. – Moscow : "Evroklimat", published in "Arina", 2000. –416 p. [in Russian].
3. Kuvshinov, Y. Theoretical wasps nova provide indoor climate / Y. Kuvshinov.– Moscow : DIA, 2007. – 212 p. [in Russian].
4. GOST 30494-96 "Residential and public buildings. The parameters of indoor climate. " [in Russian].
5. Kokorin, O. Installation of air conditioning. Basis of calculation and design.

Ed. 2nd, revised. and add / O. Kokorin. – Moscow : Mechanical Engineering, 1978. – 264 p. [in Russian].

6. Antoshuk, S. Model automation maintain thermal comfort in the room [S. Antoshuk, N. Babich, V. Panov, L. Burdyka] // *A cooling engineering and technology*. – 2012. – № 1 (135). – P. 54 – 59 [in Russian].

7. Antoshuk, S. Means of improving energy efficiency by automating processes to maintain a comfortable environment in the room / S. Antoshuk, N. Babich. // *Electrical and computer systems*. – 2012. – № 05 (81). – P.52 – 57 [in Russian].

8. Krasnov, Y. HVAC system. Recommendations on of designing, testing and commissioning / Y. Krasnov, A. Borisoglebskaya, A. Antipov. – Moscow : ThermoCool, 2004. – 373 p. [in Russian].

9. Fanger, P. O. *Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering* / P. O. Fanger. – Danish Technical Press.–Copenhagen : – 1970. – P. 88 – 90 [in English].

10. Fanger, P. O. "Calculation of Thermal Comfort: Introduction of a Basic Comfort Equation" / P.O. Fanger. – *ASHRE Trans.* – 1967. – Vol. 73. – Pt. 2 [in English].

11. ASHRAE. *Physiological Principles for Comfort and Health. 1985 Fundamental Handbook*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. – Atlanta, GA, 1985. – Chapter 8,18 [in English].

12. Berglund, L. *Mathematical Models for Predicting the Thermal Comfort Response of Building Occupants* / L. Berglund. – *ASHRAE Trans.* – 1978. – Vol. 84 [in English].



Антощук Светлана Григорьевна, д-р техн. наук, проф. каф. информационных систем Одесского нац. политехн. ун-та



Бабич Николай Иванович, ассистент каф. информационных систем Одесского нац. политехн. ун-та