

Кроме того, автоматизированные комплексы проектирования позволяют вывести аглодоменное производство на новый уровень развития, тем самым повышая его конкурентоспособность.

Разработанная система проектирования охладителей позиционируется как универсальный комплекс, использование которого возможно как для производства агломерата, так и производства окатышей. На данный момент система используется сотрудниками ОАО «Уралмашзавод» для формирования технико-коммерческих предложений и обоснования технических решений по реконструкции аглофабрик России и зарубежья. С применением разработанной системы в 2014–2015 гг. было проведено обоснование модернизации линейных охладителей

агломерата для аглофабрики предприятия «Раштрия Испат Нигам Лимитед» (Индия, г. Визакхапатнам).

Литература

1. *Ендияров, С. В.* Диагностика процессов подготовки и производства агломерата / С. В. Ендияров, С. Ю. Петрушенко. – LAP: Lambert Academic Publishing, Germany, 2013.
2. *Ендияров, С. В.* Система автоматизированного проектирования кольцевых охладителей / С. В. Ендияров, С. Ю. Петрушенко, С. В. Омельченко // Сталь. – 2014. – №6. – С. 75–79.
3. *Ендияров, С. В.* Система диагностики и управления процессом подготовки и производства железорудного агломерата / С. В. Ендияров, С. Ю. Петрушенко // Автоматизация в промышленности. – 2012. – №10. – Октябрь. – С. 65–68.

УДК 628.87

М. В. Пророкова, В. В. Бухмиров

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И КАЧЕСТВО МИКРОКЛИМАТА

Предложен метод оценки качества микроклимата, который учитывает достоинства и недостатки существующих методов и может быть использован при проектировании и настройке систем отопления, вентиляции и кондиционирования зданий с учетом требований энергосбережения и энергоэффективности.

Энергосбережение, качество микроклимата, уровень комфортности микроклимата.

The authors developed the method for estimating the microclimate, taking into account the advantages and disadvantages of the existing methods for assessing microclimate. The method can be used for constructing the systems of heating, ventilation and air conditioning of buildings subject to the requirements for energy saving.

Energy saving, microclimate quality, microclimate comfort level.

Введение.

Энергосбережение в последние десятилетия стало актуальной проблемой для всего мира. Решение данной задачи связано не только с улучшением экологии, но и с обеспечением энергетической безопасности отдельных государств. При этом для стран с ограниченными запасами топливных ресурсов энергетическая безопасность означает снижение зависимости экономики от импорта топлива, а для ресурсодобывающих стран, в том числе, для России, она состоит в обеспечении растущего внутреннего спроса на энергоресурсы за счет более эффективного использования той энергии, которая уже производится, а не за счет увеличения добычи топлива и строительства новых источников тепло- и электроснабжения.

В настоящее время Россия занимает третье место в мире по объему энергопотребления (после США и Китая), а энергоемкость ВВП является самой высокой в десятке стран – крупнейших потребителей энергии [1]. Высокий показатель энергоемкости связан не только с расположением значительной части территории России в холодной климатической зоне, но и с преобладанием тяжелой промышленности в

экономике страны. Однако, по оценкам специалистов [6], даже с учетом всех этих факторов потребление энергии в России все же приблизительно на 20 % выше, чем в странах с аналогичным уровнем доходов, климатическими характеристиками и структурой промышленности.

Основная часть.

Высокая энергоемкость РФ свидетельствует о неэффективном использовании энергоресурсов, оказывает негативное влияние на экономику России, ее энергетическую безопасность, на окружающую среду и здоровье ее граждан. Как отмечают специалисты [6], реализация потенциала энергосбережения может привести к экономии до 45 % полного потребления энергии.

Анализ литературы по данному вопросу позволил сформулировать четыре принципа, определяющих политику энергосбережения в России [5]:

1. Энергоресурсы имеют большое значение как для улучшения качества жизни россиян, так и для обеспечения энергетической безопасности и независимости страны.

2. Энергоресурсы должны обладать всеми признаками товара, поскольку могут создаваться, продаваться, покупаться и иными способами участвовать в товарно-денежных отношениях.

3. В XXI веке будут активно использоваться нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

4. Приоритет при выборе и реализации энергосберегающих мероприятий будут иметь решения эффективные не только в техническом или экономическом плане, но также одновременно способствующие улучшению микроклимата помещений.

Актуальность первых трех принципов подтверждается отношениями со странами Европы и СНГ, принятием пакетов нормативных документов в области энергосбережения, а также созданием фондов поддержки эффективных технологий: Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий (СКОЛКОВО) и т. п.

Однако проблеме взаимосвязи энергосбережения и комфортности микроклимата в настоящее время в России уделяется недостаточно внимания, поскольку данный вопрос в настоящее время изучен недостаточно полно. Результаты зарубежных исследований в данной области показывают, что организация комфортного микроклимата с целью сохранения здоровья и работоспособности людей является серьезной проблемой. Например, по результатам исследований Национального института по безопасности жилья и здоровья США (2002 г.), «один миллион зданий в США имеет плохое качество внутреннего воздуха, в результате чего снижается производительность труда, и величина этих потерь достигает 60 млрд долларов в год. Более половины проблем с качеством внутреннего воздуха связаны с непрофессионализмом в проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха» [5].

На Международной конференции по архитектуре и качеству окружающей среды (Тяньцзянь, Китай, 13 мая 2004 г.) П. Оле Фангер отметил, что «ежедневно около 5 тысяч человек умирает от плохого качества внутреннего воздуха» [5].

Национальное агентство Финляндии по новым технологиям опубликовало показатели влияния на здоровье людей и финансовые потери синдрома «больного здания» (см. табл. 1) [3].

Таким образом, реализация энергосберегающих мероприятий в зданиях должна быть выполнена с учетом комфортного пребывания в них человека.

Наиболее распространенным в настоящее время является такой способ определения комфортности микроклимата, как измерение и оценка отдельных составляющих температурно-влажностного режима помещения: температуры, подвижности, относительной влажности воздуха, а также характеристик теплового излучения [2]. Существенным недостатком данного подхода является пренебрежение взаимным влиянием параметров микроклимата друг на друга. Для повышения точности определения комфортности микроклимата необходимо разработать комплексный показатель, который учитывает макси-

мально возможное число параметров и их взаимное влияние.

Таблица 1

Показатели влияния на здоровье людей и финансовые потери синдрома «больного здания»

Последствия проявления синдрома «больного здания»	Финансовые потери, вызванные синдромом «больного здания», €/год	Условия, включенные в расчеты
Увеличение числа случаев аллергических реакций	1,18 млрд	30 % стоимости всех аллергических заболеваний (в условиях работы в офисе 600 000 служащих)
Отпуск по болезни	0,8 млрд	15 % служащих отсутствовали по причине «плохого» воздуха в помещении
Снижение производительности труда	0,2 млрд	Уменьшение офисных служащих на 10 %. Общая сумма заболевших 170 млн, половина которых заболела по причине «плохого» воздуха
Инфекционные заболевания	84 млн	
Заболевание раком легких вследствие радонового загрязнения помещений	34 млн	450 случаев в год, стоимость одного случая 75 000 евро

В области исследований, посвященных проблемам микроклимата, можно выделить ряд работ, в которых параметры, определяющие микроклимат, объединены и представлены в виде комплексных критериев. В работах И. Гриффитса и Д. МакИнтейра [9] в качестве критерия комфортности микроклимата использована величина «векторной радиационной температуры», которая учитывает температуру воздуха и падающее на человека тепловое излучение. Данная методика позволяет при оценке комфортности микроклимата помещений учесть асимметрию падающего на человека теплового излучения, но остаются неучтенными такие важные характеристики микроклимата, как: относительная влажность, подвижность и качество воздуха.

В работах С. Х. Гейджа и Б. Харрингтона [8] фигурирует понятие «оперативная температура», которая включает температуру и относительную влажность воздуха, а также тепловое излучение. Однако разработанные авторами зависимости можно использовать только при подвижности воздуха 0,07–0,08 м/с.

В. А. Максимович в работе [4] использовал понятие «критерий комфортности микроклиматических условий», которое объединяло температуру, относи-

тельную влажность, подвижность воздуха и содержание пыли. Однако данная методика была разработана для производственных помещений с большими выделениями пыли и не учитывала радиационное излучение.

Исследования С. Олесена, П. Фангера, О. Нильсена и П. Дженсена [12] посвящены разработке диаграмм комфортности. По рекомендациям авторов при проектировании систем отопления используют 28 диаграмм, которые можно разбить на три группы. В первую группу входят 12 диаграмм, построенных при разных значениях относительной влажности и подвижности воздуха для средней радиационной температуры помещения. К второй группе относят четыре диаграммы, построенные по температуре воздуха и средней радиационной температуре помещения для разных значений подвижности воздуха. Третья группа включает 12 диаграмм, построенных для различных значений подвижности и температуры воздуха и относительной влажности, равной 50 %. Основным недостатком метода определения комфортности по диаграммам Олесена и Фангера является ограниченность рабочего поля подвижностью воздуха 1,5 м/с и неудобство графического определения параметров комфортности.

Т. Бедфорд, В. Лизе и Ф. Гэй [7], [10] посвятили свои исследования разработке диаграмм теплоощущений, в которых комфортное состояние человека определялось соотношением радиационной температуры и температуры воздуха. П. Е. Мак-Нолл и Р. Е. Биддисон [11] разработали аналогичную диаграмму для случая асимметричного теплового излучения. Однако ни одна из указанных диаграмм не учитывает влажность воздуха, а диаграмму Ф. Гэя можно использовать только в производственных помещениях, где подвижность воздуха не превышает 0,15 м/с.

М. О. Стареева и О. С. Кочетов [3] разработали шкалу комфортности параметров микроклимата для производственных помещений: 1 – очень жарко, 2 – слишком тепло, 3 – тепло, но приятно, 4 – чувство комфорта, 5 – прохладно, но приятно, 6 – холодно, 7 – очень холодно. Соответствие параметров микроклимата тому или иному уровню шкалы определяется по аналитической зависимости, учитывающей температуру воздуха в рабочей зоне, температуру окружающих поверхностей, относительную влажность и подвижность воздуха. Анализируется и содержание пыли в воздухе. Методика [7] разработана для производственных помещений и не учитывает содержание в воздухе углекислого газа.

К основным недостаткам рассмотренных выше методов комплексной оценки комфортности микроклимата помещений следует отнести:

- специфику объектов, к которым данные способы применимы;
- ограниченность применения по одному из параметров микроклимата;
- ограниченность применения существующих методик из-за необходимости большого количества измерительных приборов для определения характеристик воздушной среды.

Сотрудниками ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина» (ИГЭУ) разработан новый метод оценки комфортности микроклимата по комплексному критерию, который может быть использован при проектировании, реконструкции и оптимизации режимов работы систем отопления, вентиляции и кондиционирования, а также при разработке и внедрении энергосберегающих мероприятий.

В основу метода положено определение коэффициента комфортности теплового состояния человека, основанное на расчете составляющих уравнения теплового баланса человека с введением поправок на асимметрию радиационных потоков, радиационное охлаждение и качество воздуха (содержание двуокиси углерода).

Уровень комфортности W человека в помещении определяется по выражению:

$$W = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4,$$

где k_1 – коэффициент теплового состояния человека, который изменяется от 1 (абсолютно комфортное состояние) до 0 (полное отсутствие комфорта) и может иметь положительное (при избытке теплоты) и отрицательное (при недостатке теплоты) значение; k_2 – коэффициент влияния на комфортность микроклимата радиационного охлаждения; k_3 – коэффициент, учитывающий влияние на комфортности асимметрии теплового излучения; k_4 – коэффициент, учитывающий соответствие качества воздуха нормам, установленным ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Степень комфортности в зависимости от значения уровня комфортности W определяется по табл. 2.

Таблица 2

Степень комфортности микроклимата

Уровень комфортности	Степень комфортности	Уровень комфортности	Степень комфортности
$0 > W > -0,30$	Холодно, дискомфорт	$0,65 \leq W < 1$	Тепло, но комфортно
$-0,30 \geq W > -0,65$	Прохладно, легкий дискомфорт	$0,30 \leq W < 0,65$	Тепло, легкий дискомфорт
$-0,65 \geq W > -1$	Прохладно, но комфортно	$0 < W < 0,30$	Жарко, дискомфорт
$W = \pm 1$	Комфорт		

Способ определения уровня и степени комфортности помещений зданий непроизводственного назначения реализован в среде MathCad в виде программы, включающей следующие блоки:

1 блок – ввод параметров, характеризующих тип преимущественного вида работ в помещении (мета-

болистическая теплота, коэффициент полезного действия механической работы, относительная подвижность человека в воздухе);

2 блок – ввод результатов инструментального обследования помещения (температура, относительная влажность, подвижность воздуха в помещении, температура ограждающих поверхностей);

3 блок – расчет составляющих уравнения теплового баланса человека в помещении и определение коэффициента k_1 ;

4 блок – введение поправок на радиационное охлаждение (k_2), асимметрию радиационного излучения (k_3) и качество воздуха (k_4);

5 блок – вычисление уровня комфортности и соответствующей степени комфортности микроклимата в помещении;

6 блок – при пониженном уровне комфортности микроклимата ($W < 1$) определение требуемых параметров теплового режима помещения и качества воздуха.

На рисунке показана оптимизирующая микроклимат зависимость, построенная для следующих условий: помещение – учебная лаборатория ВУЗа, температура воздуха – 20 °С; подвижность воздуха – 0,01 м/с; относительная влажность воздуха – 50 %; средняя температура ограждающих поверхностей – 19,3 °С. Уровень комфортности помещения составил $W = -0,809$, а степень комфортности микроклимата – «прохладно, но комфортно».

Ограничением использования зависимости, приведенной на рисунке, являются нормы, установленные ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Для холодного периода года оптимальная подвижность воздуха не должна превышать 0,2 м/с, допустимая – не более 0,3 м/с; в теплый период года – соответственно 0,15 м/с и 0,25 м/с [2].

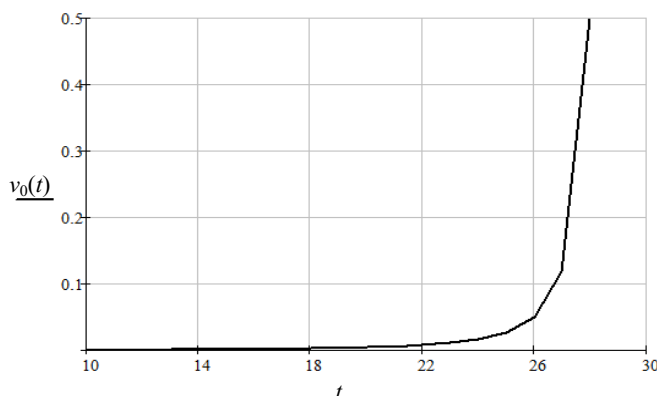


Рисунок. Зависимость подвижности воздуха в помещении ($v_0(t)$, м/с) от его температуры (t , °С)

Выводы.

Предложен новый способ оценки комфортности микроклимата жилых, общественных и административных зданий, учитывающий основные параметры, формирующие тепло-влажностную среду помещений, их взаимное влияние, а также качество воздуха.

Предложенный способ реализован в виде программы в среде MathCad и может быть использован при проектировании и настройке систем отопления, вентиляции и кондиционирования зданий с учетом требований энергосбережения и энергоэффективности.

Литература

1. Генцлер, И. В. Энергосбережение в многоквартирном доме: Информационно-методическое пособие / [И. А. Генцлер и др.]. – Тверь, 2009.
2. ГОСТ 30494–2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях
3. Кочетов, О. С. Способ многокритериальной оценки комфортности рабочей зоны производственных помещений / О. С. Кочетов, М. О. Стареева. – М. : № 2472134.
4. Максимович, В. А. Критерий комфортности микроклиматических условий / В. А. Максимович // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. – 1977. – №6. – С. 22–23.
5. Табунщиков, Ю. А. Микроклимат и энергосбережение: пора понять приоритеты / Ю. А. Табунщиков. – URL: http://www.homevent.ru/download/Microclimat_i_energoberejenie.pdf. Дата обращения 07. 06. 2014
6. Энергоэффективность в России: скрытый резерв. Отчет Группы Всемирного банка / под. рук. Г. Саркисяна и Я. Горбатенко. – URL: http://www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf. Дата обращения 14. 01. 2015
7. Bedford, Th. Basic Principles of Ventilation and Heating / Th. Bedford. – London, 1948.
8. Gagge, A. P. The influence of clothing on physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures / A. P. Gagge, C. E. A. Winslow, L. P. Harrington // Amer. J. Physiol. – 1968. – № 124. – P. 30–50.
9. Griffiths, I. D. Subjective response to overhead thermal radiation / I. D. Griffiths, D. A. McIntyre // Human Factor. – 1974. – 16y3y. – P. 415–422.
10. Kollmar-Liese Die Strahlungaheizung / Kollmar-Liese. – R. Oldenburg, Munchen, 1957.
11. McNall, Jr. P. R. Thermal and comfort sensations of sedentary persons exposed to asymmetric radiant fields / Jr. P. E. McNal, R. E. Biddison // ASHRAE Transaction. – 1970. – № 76. – Part 1.
12. Olesen, S. Comfort limits for msn exposed to asymtric thermal radiation / [S. Olesen et al.] // Proc. of the CIB Commission W45 (Human requirements). Symp. Thermal Comfort and Moderate Heat stress Building Research Station. – London, 1972.