



# Микроклиматический комфорт и воздухораспределение: несколько шагов навстречу

**А. А. Дударев, руководитель отдела гигиены ФБУН СЗНЦ гигиены и общественного здоровья, Санкт-Петербург**  
**А. Г. Сотников, член президиума НП «АВОК Северо-Запад»**

Воздушная среда помещений, регламентируемая многими параметрами воздействия экзогенных и эндогенных факторов<sup>1</sup>, определяет условия труда и жизни, здоровье и комфорт человека. Обеспечение «здоровой» и комфортной воздушной среды обходится весьма недешево, для этого применяются дорогие, технически сложные, мультифункциональные инженерные системы. На удаление только одного кВт избыточной теплоты в зданиях и помещениях (для поддержания температуры воздуха) капитальные затраты достигают 15–30 тыс. руб. По старинке обеспечение комфорта инженеры в основном связывают [18] с оценкой лишь трех параметров микроклимата и их отклонений: температуры воздуха ( $\pm 1$  °C) и окружающих поверхностей, относительной влажности ( $\pm 7\%$ ) и подвижности воздуха не более 0,2–0,5 м/с, однако этого в XXI веке явно не достаточно. В области обеспечения и управления микроклиматом необходимо учитывать как достижения отечественных научных школ (прежде всего ленинградской), так и богатый зарубежный опыт. В СССР–России обеспечение микроклиматического комфорта помещений стало возможным благодаря исследованиям во ВНИИ охраны труда (бывш. ЛИОТ) струйных течений М. И. Гримитлина [8], его учеников и коллег, Г. М. Позина [9], гигиеническим исследованиям В. Н. Тетеревникова [16, 20], Т. А. Куксинской, Ю. Н. Хомуцецкого [13], экономико-социальным обоснованиям Л. В. Павлухина [15], жесткой санитарно-гигиенической экспертизы Л. Г. Барской и др. Среди зарубежных ученых существенный вклад в решение проблем управления микроклиматом помещений внесли прежде всего О. Фангер [25, 26] и его последователи, на трудах которых и базируется

современное международное нормирование в данной области (PPD, PMV, DR, met, clo [4, 5, 10–12, 14, 24 и др.]). Данная статья посвящена обсуждению характеристик температурного и скоростного поля воздуха помещений и их связи с параметрами комфорта; с учетом этих зависимостей обосновывается выбор оптимальных систем воздухораспределения.

## Регламентируемые параметры воздушной среды помещений.

У специалистов по вентиляции обычно нет полного и широкого представления о многообразии факторов среды обитания, возможных неблагоприятных для здоровья эффектов их воздействия и грамотном применении на практике гигиенических нормативов. Обычно считается, что обеспечение не превышения допустимых норм по температуре, влажности и подвижности воздуха в помещении является главной целью. Однако все значительно сложнее: комфортное самочувствие человека в помещении определяется комплексом факторов воздушной среды [10, 11] — не только микроклиматических. В данной публикации мы не будем касаться значительного числа дополнительных факторов среды и специфики трудового процесса, которые оказывают не менее значимый эффект на здоровье и комфортность ощущений обитателей помещений (физические, химические, биологические, эргономические, психосоциальные и др. [10, 11]), а сосредоточимся на современных требованиях к всесторонней оценке микроклимата помещений.

**Динамический температурный или скоростной режим** (иначе *неустойчивая термальная среда* [4, 24]), призванный имитировать дуновение



Алексей Анатольевич Дударев

Родился в 1964 году в Ленинграде. Доктор медицинских наук. В 1987 году окончил Северо-Западный медицинский университет им. И. И. Мечникова. Руководитель отдела гигиены ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья». Работа: гигиена и эпидемиология окружающей среды, онкоэпидемиология, радиационная экология, медицинская экология Крайнего Севера, стойкие токсичные вещества (СТВ), качество воздуха помещений, гигиена труда офисных работников, аэроионизация.

Эксперт от РФ Международной программы арктического мониторинга и оценки (АМАР), член международного Союза циркулярного здоровья (IUCH) и Общества эпидемиологов окружающей среды (ISEE).

Автор (и соавтор) более 120 научных публикаций, в т.ч. нескольких монографий в РФ и за рубежом.

ветра<sup>2</sup>, охлаждать организм и снизить утомляемость работника, на деле может приводить к простудным заболеваниям, невритам и невротиям, аллергическим реакциям и т. д. Опыт изучения и применения динамического

1. Экзогенные — внешние, эндогенные — внутренние факторы.

2 Широко известны и массово применяются настольные индивидуальные вентиляторы, а также малооборотные потолочные вентиляторы, иногда совмещенные со светильниками.





Анатолий Геннадиевич Сотников

Родился в 1938 году. Доктор технических наук, профессор. В 1962 году окончил с отличием ЛИСИ. В 1968 году защитил диссертацию, окончил аспирантуру. С 1968 по 2007 гг. работал на кафедре «Кондиционирование воздуха» ЛТИХП ассистентом, доцентом, профессором. В 1994 году защитил по совокупности исследований (книги, статьи) докторскую диссертацию. Автор известных книг по проектированию VAV-систем (1976 и 1984 гг.), по автоматизации СКВ и вентиляции (1984 г.). Подготовил и издал книгу «Автономные и специальные СКВ» (2005 г.) и трехтомник «Процессы, аппараты и системы СКВ и вентиляции» (2005–2007 гг.). Круг научных интересов — по названию и содержанию книг и статей в журналах.

режима описан Ю. Н. Хомуецким [13] при монотонном труде в метеокамере ЛИОТ и в цехе сборки Даугавпилсского завода «Электроинструмент» (Латвия). Гигиенически обоснован импульс отклонения температуры, совокупно учитывающий влияние на человека как самого отклонения, так и его формы и продолжительности. Сравнение систем стабильного и динамического микроклимата, описанное в статье [22] и представленное на рис. 1, не вполне корректно, так как сопоставляются системы с разными параметрами, создающие разные отклонения. Особое значение динамический скоростной режим имеет при переменном и значительном тепловом облучении (например, в горячих цехах, в кинотеатрах и др.) как средство безынерционной компенсации облучения человека [1].

На основе зарубежных научных разработок (Nevins RG, Houghten FC, Fanger PO) отечественные гигиенисты стали применять номограммы для оценки совокупного воздействия сочетаний  $t_b$ ,  $t_{b,пов}$ ,  $\Phi_b$ ,  $v_b$  на человека.

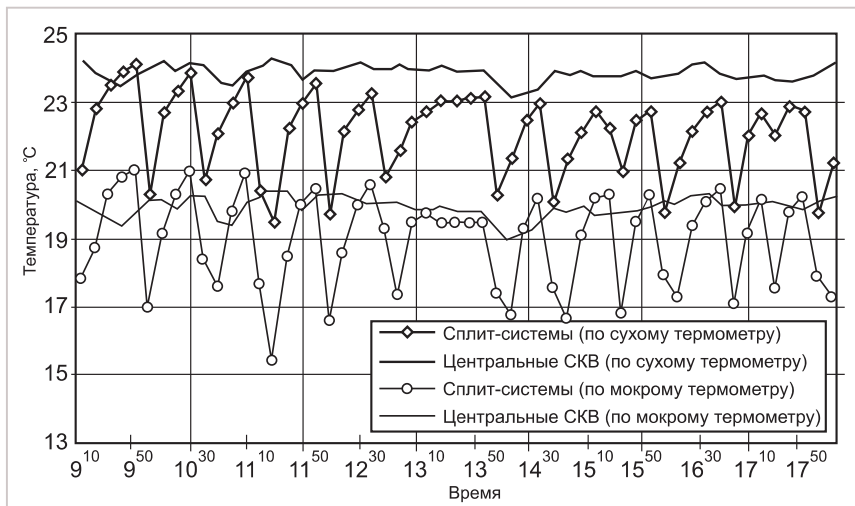


Рис. 1. График изменения температуры воздуха по сухому и мокрому термометрам в течение рабочего дня в офисном здании, обслуживаемом центральной СКВ и автономными кондиционерами по данным [22]

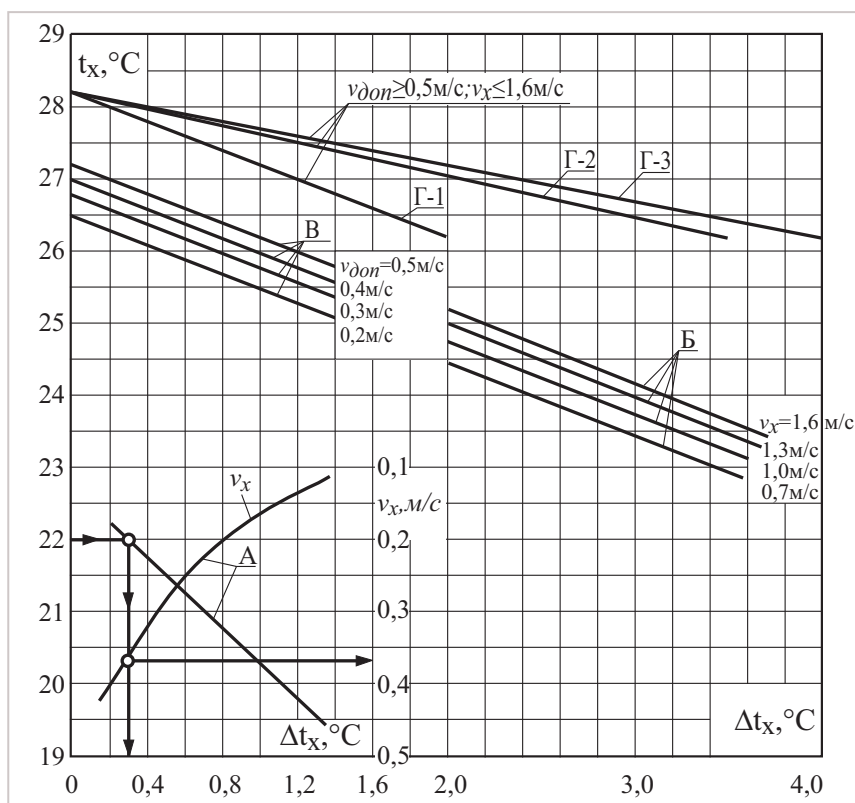


Рис. 2. Сводная номограмма ВНИИОТ для оценки взаимосвязи осевых параметров приточных струй на входе в рабочую зону помещения: А — оптимальные условия, Б — промежуточные условия (между оптимальными и допустимыми), В — допустимые условия, Г — то же, при душировании рециркуляционным воздухом. **Ключ:** для оптимальных условий работы при температуре в струе  $t_x = 22^\circ\text{C}$  допустимое отклонение температуры на оси струи  $\Delta t_x = 0,3^\circ\text{C}$ , а допустимая скорость по оси струи  $v_x = 0,36\text{ м/с}$

В отечественном издании по гигиене [16] и публикациях [20 и др.] не только учтены параметры воздушной среды, но и увязан на основе физиологической модели тепловой комфорт человека с факторами продолжительности и интенсивности облу-

чения, типом одежды (термическим сопротивлением — clo), двигательной активностью при выполнении работ (met). Кроме того, пришло понимание, что эффект восприятия тепла или иных сочетаний параметров большой группой испытуемых всегда но-



## Основные регламентируемые параметры микроклимата помещений

Показатель или способ оценки	Нормативный документ
Категория помещений 1, 2, 3а, 3б, 3в, 4, 5 и 6 в зависимости от назначения помещений, числа людей и их занятости	ГОСТ 30494-96
Категория работ 1а, 1б, 2а, 2б, 3 в зависимости от характеристик трудового процесса	СанПиН 2.2.4.548-96
Тепловлажностные параметры воздуха (оптимальные, допустимые), $t_{в}$ , °C, $\phi_{в}$ , %, $v_{в}$ , м/с, и температура внутренних поверхностей, $t_{в.пов}$ , °C	ГОСТ 30494-96, ГОСТ 12.1.005-88, табл. 1, СНиП 41-01-2003, прил. В, Е СанПиН 2.2.4.548-96 ISO 7730:2005 ANSI/ASHRAE 55-2004-2010
Допустимые отклонения тепловлажностных параметров, $\Delta t_{в}$ , $\Delta \phi_{в}$ от нормируемых значений в пространстве и во времени Импульс отклонения $I_t = \Psi_{\phi} \Delta t_{в}(\tau) \Delta \tau$ , ч·°C, где $\Psi_{\phi}$ – коэффициент формы кривой $\Delta t_{в}(\tau)$	СНиП 41-01-2003, прил. Г, Д, п. 12.21 ISO 7730:2005 ANSI/ASHRAE 55-2004-2010
Облучение открытых частей тела, $q_{л}$ , Вт/м <sup>2</sup>	СНиП 41-01-2003, прил. Е, табл. Е.1 ISO 7730:2005 ANSI/ASHRAE 55-2004-2010
PMV – ожидаемый уровень теплоощущений человека по сочетанию $t_{в}$ , $\phi_{в}$ , $v_{в}$ , $t_{пов}$ , термического сопротивления одежды (clo) и категории работы (met)	ISO 7730:2005 ANSI/ASHRAE 55-2004-2010
PPD – прогнозируемый процент недовольных (теплоощущениями), принимают 10, 20 или 30%	ISO 7730:2005 ANSI/ASHRAE 55-2004-2010
DR – прогнозируемый процент недовольных («сквозняком»)	ISO 7730:2005 ANSI/ASHRAE 55-2004-2010
met – удельные тепловыделения от человека, характеризующие интенсивность трудовой деятельности, подробнее – см. табл. 25 [5]	ISO 7730:2005 ANSI/ASHRAE 55-2004-2010
clo – величина, характеризующая термическое сопротивление одежды	ISO 7730:2005 ANSI/ASHRAE 55-2004-2010

сит вероятностный характер и поэтому описывается статистическими законами.

Для совершенствования отечественных нормативов производственного микроклимата [17] необходимо было учитывать следующие основные положения [16, 20]:

- использование принципа эквивалентности условий микроклимата для обеспечения вариантных расчетов систем и установок при их проектировании;

- учет фактора времени воздействия на человека различных сочетаний параметров воздуха для увязки технологических и вентиляционных решений;

- изменение принципов нормирования допустимых условий микроклимата с учетом климатогеографических особенностей местности и степени адаптации работающих.

Одним из направлений исследований было изучение связи параметров приточных струй на входе в рабочую зону с ощущением комфорта персонала

(разных категорий работ), что является основой расчета воздухораспределения с использованием понятия *опасной точки*. Как пример этого на рис. 2 [20] представлены сводные результаты исследований.

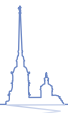
**Модель общего теплового комфорта (PMV-модель) Фангера** [25, 26] объединяет **четыре параметра микроклимата помещений** (температура и скорость движения воздуха, средняя радиационная температура, относительная влажность) и **два человеческих фактора**: одежда (clo) и двигательная активность (met) в комплексный показатель (PMV), позволяющий прогнозировать температурный комфорт для группы людей в помещении. Данная модель не всегда точна в прогнозе действительных теплоощущений, особенно в реальных условиях офисных зданий; в большинстве случаев причиной расхождений прогнозируемой и реальной температуры комфорта среди персонала офисов является неточность определения двух

*человеческих* параметров — теплоизолирующих свойств одежды (и сидений) и уровня двигательной активности людей.

Кроме того, значительная степень неопределенности привносится в PMV-модель из-за недостаточного учета множества контекстуальных допущений, таких как внешний климат, тип вентиляции здания, продолжительность экспозиции, а также возраст, пол, расовая и этническая принадлежность, особенности конституции и метаболизма (в том числе ожирение), вариабельность акклиматизационных реакций людей, их привычек и навыков к адаптации и другие факторы.

**Международные стандарты оценки микроклимата жилых и общественных зданий.** В стандарте [23, 24] используются показатели

**PMV (predicted mean vote) — ожидаемый усредненный показатель теплоощущений** и **PPD (predicted percentage of dissatisfied) — ожида-**



**емый процент неудовлетворенных.** Пример зависимости PPD от PMV (на основе данных экспериментов) представлен на рис. 3, а. На рис. 3, б показана зависимость теплоощущений человека от категории работ (*met*), термического сопротивления одежды (*clo*) и температуры воздуха в помещении, на рис. 3, в и 3, г демонстрируют зависимости расчетной температуры от *met* и *clo*.

Поясним на примерах методику оценки теплового комфорта человека с использованием PMV-модели при разных условиях трудовой деятельности и разных температурах на рабочих местах.

**Пример 1.** Сравнить по PMV- и PPD-индексам и данным рис. 3, а, б тепловой комфорт в разных помещениях, где температура воздуха на рабочих местах одинакова и составляет  $t_b = 18...22$  °C,  $\phi_b = 40...50$  %,  $v_b = 0...0,5$  м/с при работе легкой (1 *met*), средней тяжести (1,5 *met*) и тяжелой (2 *met*) в служебной одежде термическим сопротивлением 1 *кло* = 0,155 (м<sup>2</sup>·°C)/Вт. Дать предложения по совершенствованию температурного режима и теплового комфорта.

Согласно построениям на рис. 3, б при  $v_b < 0,1$  м/с и легкой работе PMV

= -1,1...-0,1 (слегка прохладно), PPD = 5...25%, при работе средней тяжести PMV = -0,3...+0,4 (комфортно), PPD = 5...7%, при тяжелой работе PMV = 0,3...1 (слегка тепло), PPD = 6...25 %. Еще больший контраст будет заметен, если учитывать разную подвижность воздуха в помещении, особенно там, где в зоне струи большая подвижность воздуха будет сочетаться с низкой температурой (т. н. *опасная точка*). Более подробный учет влияния подвижности воздуха можно сделать на основе ГОСТ [4, 24]. По результатам проведенного анализа можно сделать вывод о том, что при легкой работе температура должна быть повышена до  $22 \pm 1$  °C, а в помещениях с тяжелой работой снижена до  $15 \pm 1$  °C.

При сопоставлении параметров микроклимата, регламентируемых ГОСТ [6], с показателями, принятыми в международных стандартах [23, 24], оказалось, что оптимальные сочетания параметров полностью соответствуют по шкале теплоощущений PMV = -0,25...0,18 и, значит, имеют малую вероятность неудовлетворенных (PPD < 6%). Что же касается допустимых сочетаний параметров, то их крайние значения могут приводить к уровню теплоощущений PMV = 0,55...-1,15, а процент

неудовлетворенных — достигать уровня PPD = 30% (рис. 3, а).

**Повышение эффективности систем микроклимата** с использованием PMV-модели. Решение проблемы качественного микроклимата возможно либо радикальными (но затратными) методами [15], либо паллиативными, но более дешевыми. Поясним это кратким примером.

**Пример 2.** В проекте центральной СКВ для зрительных залов мультиплексинокитеатра в расчетных летних условиях при *clo* = 0,5 и *met* = 1 выбранные параметры воздушной среды:  $t_b = 25 \pm 1$  °C,  $\phi_b = 50...60$  %,  $v_b = < 0,2$  м/с, чему по рис. 3, а, б соответствуют PMV = -0,4...0, а PPD = 5...10%. Используя PMV-модель [23, 24], предложить другие параметры и технические решения, обеспечивающие равный комфорт, но при меньших капитальных и энергозатратах на получение холода для центральной СКВ кинотеатра.

Предлагаемый конкурирующий вариант основан на стандарте [4, 24] заключается в дополнительном (кроме СКВ) устройстве под потолком зрительных залов малооборотных осевых вентиляторов (фенов). Создаваемая ими средняя подвижность в рабочей зоне  $v_b = 0,3...0,5$  м/с может обеспечить рав-



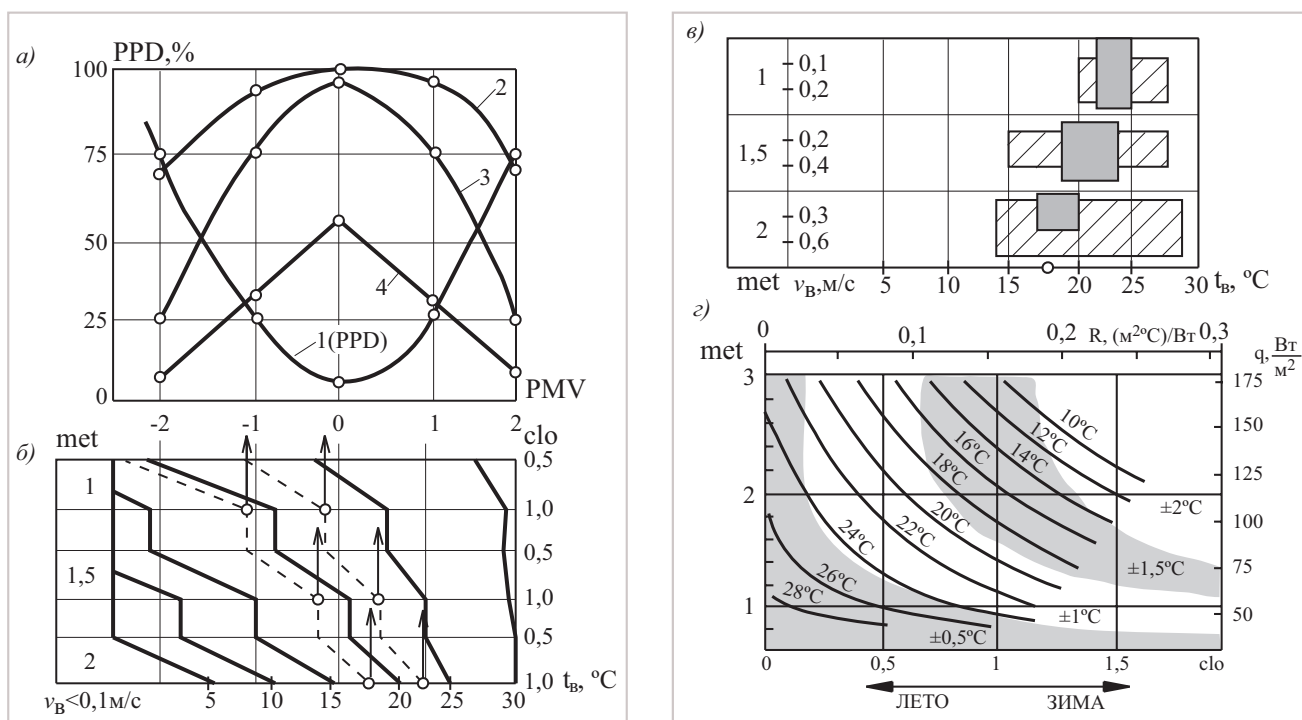


Рис. 3. Современные зависимости для оценки восприятия человеком качества воздушной среды помещения:

а – зависимость числа неудовлетворенных качеством воздуха, PPD (%), от индивидуальных тепловых ощущений по шкале PMV;

1 – зависимость PPD от PMV; 2, 3, 4 – зависимость процента испытуемых, оценивающих данное PMV как «слегка холодно» или «слегка жарко» (2), как «прохладно» или «тепло» (3), как «не хуже, чем комфортное» (4);

б – зависимость показателя теплоощущения человека PMV от категории физической работы, иначе – удельных тепловыделений человека, Вт/м² поверхности тела (1 met = 58 Вт/м² – легкая работа в учреждении, 1,5 met = 87 Вт/м² – физическая работа средней тяжести, 2 met = 116 Вт/м² – тяжелая физическая работа), термического сопротивления одежды (1 clo = 0,155 (м²·°C)/Вт – служебная одежда, 0,5 clo = 0,078 (м²·°C)/Вт – легкая летняя одежда) и температуры внутреннего воздуха  $t_b = 5...30$  °C,  $t_{пов} = t_b$ ,  $v_b \leq 0,1$  м/с;

в – зависимость расчетной температуры и подвижности воздуха на постоянных рабочих местах в помещении от категории физической работы по отечественному стандарту [7]: оптимальные параметры затенены, допустимые показаны штриховкой;

г – номограмма для определения эффективной температуры воздуха и ее допустимого отклонения в зависимости от величин met и clo по данным [4, 24] при PPD < 6%.

**Ключ:** при легкой работе в офисе met = 1 в течение года clo составляет от 0,5 (летом) до 1,5 (зимой), оптимальная температура должна изменяться от 26 до 20 °C при отклонении  $\pm 0,5...1$  °C

ный комфорт, но при этом поддерживать более высокую температуру воздуха  $t_b = 28...29 \pm 1$  °C [4, 24 табл. Е.1, Е.2], что потребует меньшего расчетного и текущего расхода холода, определяемого по специальной методике, и меньших капитальных затрат.

**Пример 3.** Обосновать в гигиеническом и техническом отношении применение автоматического поддержания температуры в офисных помещениях путем управления подоконными доводчиками – фанкойлами по сравнению с ручным управлением персонала офиса.

При автоматическом управлении будет поддерживаться постоянная температура вблизи места установки датчика, например  $t_b = 20$  °C, однако никак не учитывающая такие факто-

ры, определяющие тепловой комфорт, как clo и met, к тому же технически более сложная. При ручном управлении персонал имеет возможность выбрать по собственным теплоощущениям вручную положение регулирующего клапана «теплее – холоднее», ведь человек не знает численное значение желаемой в данный момент температуры. К сожалению, эти очевидные соображения никак не были учтены при разработке местно-центральных СКВ известных высотных административных зданий Нового Арбата в 60-х гг. в Москве.

#### Модель сквозняка Фангера.

Понятие сквозняка определяется, как «нежелательное локальное охлаждение тела человека, вызванное

движением воздуха» [23]. Сквозняки – частая проблема в офисных помещениях. Помимо теплового дискомфорта, сквозняки создают дополнительные проблемы в поддержании чистоты воздуха в помещении и влияют на энергосбережение, т. к. персонал помещений, ощущая сквозняки, зачастую повышает температуру воздуха или закрывает приточные воздухораспределители.

Для оценки риска ощущения сквозняков используется модель Фангера, разработанная в лабораторных условиях [26]. Эта модель учитывает 3 физических параметра воздуха – температуру, скорость движения и интенсивность турбулентности, для прогнозирования процента недовольных лиц (DR). Модель «сквозняка» была принята за основу

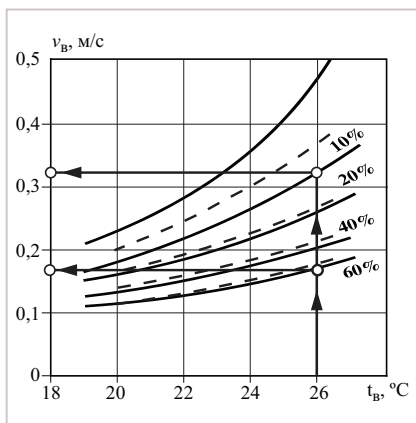


Рис. 4. Функциональная зависимость интенсивности турбулентности (%), средней скорости и температуры воздуха в помещении: по стандарту ISO 7730 [23] при DR = 15% — сплошные, по стандарту ANSI/ASHRAE 55 [24] при DR = 20% — пунктир.

**Ключ.** При температуре воздуха  $t_b = 26$  °С допустимая по условиям сквозняка подвижность воздуха при слабой турбулентности  $Tu = 10\%$  составляет  $v_b = 0,33$  м/с, а при сильной турбулентности (осевые потолочные вентиляторы)  $Tu = 60\%$   $v_b = 0,17$  м/с

при разработке стандартов температурного комфорта [23, 24], связывающих процент офисных работников, недовольных сквозняком, с температурой, подвижностью и турбулентностью воздуха. Данная зависимость определяется в обоих стандартах следующей формулой:

$$DR = (34 - t_b)(v_b - 0,05)^{0,62} (0,37v_b Tu + 3,14), \quad (1)$$

где DR — прогнозируемый процент лиц, недовольных сквозняком;  $t_b$  — локальная температура воздуха, °С;  $v_b$  — локальная скорость движения воздуха, м/с; Tu — локальная интенсивность турбулентности, %, иначе критерий Кармана. Более подробно об эффекте сквозняка можно прочесть в [4, 24]. Графически функциональная зависимость (1) между интенсивностью турбулентности (%), средней скоростью и температурой воздуха в помещении представлена на рис. 4.

Приведенные графики четко отображают расчетные зависимости — для неперевышения процента недовольных (DR) при определенной температуре воздуха: с повышением средней скорости воздушного потока

интенсивность турбулентности должна уменьшаться.

Подвижность воздуха — один из ключевых факторов, определяющих микроклиматический комфорт, т. к. он оказывает влияние на температуру кожи, ее увлажненность, потерю теплоты (конвекцией, испарением влаги) и в целом — на тепловосприятие. В стандартах применительно к подвижности воздуха заложена *дуалистическая идеология*; с одной стороны — ограничивается скорость движения воздуха для минимизации риска сквозняка (допустимые величины стандартов), с другой — подразумевается обеспечение достаточного охлаждения (оптимальные величины стандартов).

#### Уточнение методики выбора воздухораспределителей.

На основании нормируемого отклонения температуры  $\Delta t_x$ , максимальной скорости  $v_x$  в *опасной точке* и исследований струйных течений М.И. Гримитлиным и др. [8, 9] предложен метод выбора и расчета воздухораспределения в помещении. Первоначально на основе дизайн-проекта помещения определяют рабочие места и расстояния в плане и по высоте от *опасной точки* до предполагаемого

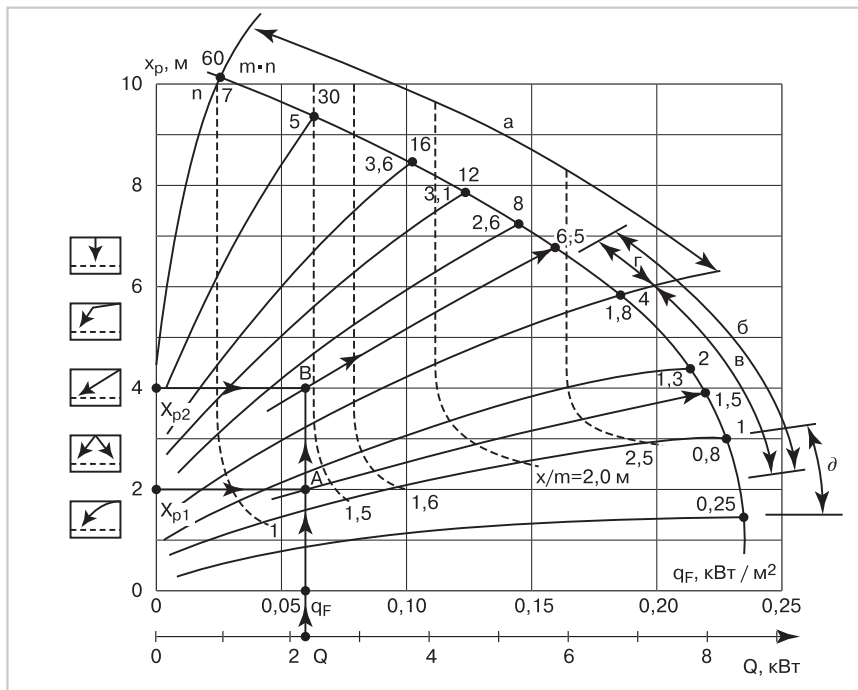


Рис. 5. Номограмма для выбора типа струи по комплексу  $(m \cdot n)$  и ее расчетной длины  $x_p$  в зависимости от общих  $Q$  (кВт) или удельных теплоизбытков помещения  $q_F$  (кВт/м<sup>2</sup>) при площади помещения, обслуживаемой одним ВРУ  $F_{n1} = 6 \times 6 = 36$  м<sup>2</sup>. Условия расчета:  $k_t = 1$ ;  $k_{вз} = 1$ ;  $v_{x,max} \cdot \Delta t_{x,max} = 0,6$  м<sup>3</sup>·°С/с. Обозначения видов струй: а – осесимметричная, б – плоская, в – веерная, г – коническая, д – закрученная.

**Ключ.** При размерах помещения, обслуживаемых одним ВРУ,  $F_{n1} = 6 \times 6 = 36$  м<sup>2</sup> и удельных расчетных теплоизбытках  $q_F = 0,06$  кВт/м<sup>2</sup>, чему соответствуют расчетные теплоизбытки этой зоны помещения  $Q = 36 \times 0,06 = 2,16$  кВт, в зависимости от расчетной длины струи можно применить: при  $x_p = 2$  м,  $(m \times n) = 1,5$  ВРУ, создающего веерную струю; при  $x_p = 4$  м,  $(m \times n) = 6$  ВРУ, – осесимметричную (компактную) струю; дальнейший расчет производится в обычной последовательности: выбирают тип, место расположения, сечение  $F_0$ , скорость  $v_0$  и т. д.

места установки воздухораспределителя. Далее на основе выполненного нами анализа [19, т. II ч. 2] можно предложить совместный выбор типа струи (коэффициенты  $m \cdot n$ ), ее расчетной длины  $x_p$  в зависимости от геометрии и высоты помещения, площади  $F_{n1}$ , обслуживаемой одним ВРУ, полных  $Q$  (кВт) или удельных теплоизбытков  $q_F = Q/F_n$  (кВт/м<sup>2</sup>) в нем. В эти формулы можно ввести упрощения, если сделать соответствующие преобразования над величинами, учитываемыми в расчете. Вместо отдельных уравнений для скорости и избыточной температуры в опасной точке струи составим их комплекс (произведение), совместив оба вида характеристик (температурную, скоростную) в одном выражении. При таком подходе исключаются из расчета противоположно-направленные по своему действию коэффициент стеснения  $k_c$  и коэффициент неизотермичности  $k_n$  струи.

В этом случае для отдельного ВРУ справедлива зависимость:

$$L_0 \Delta t_0 = F_0 v_0 \Delta t_0 = \frac{Q_1}{k_t c_B \rho_B} = \frac{q_F F_{n1}}{k_t c_B \rho_B} = \frac{v_{x,max} \cdot \Delta t_{x,max}}{m \cdot n} k_{вз}^{-2} x_p^2, \quad (2)$$

где  $Q_1$  – расчетные теплоизбытки в помещении на площади  $F_{n1}$ , обслуживаемой одной приточной струей;  $q_F = Q_1/F_{n1} = 0,02 \dots 0,2$  кВт/м<sup>2</sup> – удельные усредненные теплоизбытки, определяемые расчетом или укрупненно;  $k_t$  – коэффициент воздухообмена, определяемый по методике Г.М. Позина [9];  $v_{x,max} \cdot \Delta t_{x,max}$  – произведение максимальной подвижности и допустимого отклонения температуры (м<sup>3</sup>·°С/с) в опасной точке, определяемый в зависимости от условий по показателю РМВ (рис. 3, а), данным СНиП прил. Г и Д [18] или данным рис. 2 [20]. Для помещений общественных зданий при поддержании оптимальных параметров и других соответствующих условий примем для

определенности  $v_{x,max} \Delta t_{x,max} = 0,4 \dots 1,5 = 0,6$  (м<sup>3</sup>·°С/с). Далее, вводя допущение, что для одиночной струи коэффициент взаимодействия  $k_{вз} \approx 1,0$ , получаем выражение, связывающее расчетную длину струи  $x_p$  в общем случае как гипотенузу треугольника (для отрывных струй) или сумму его катетов (для настилающихся струй), с типом и формой струи (комплекс  $m \cdot n$ ) и удельными тепловыделениями  $q_F$  на площади  $F_{n1}$ , обслуживаемой одним ВРУ:

$$x_p = \sqrt{(h_{ном} - h_{p,з})^2 + y^2} = \sqrt{\frac{q_F F_{n1}}{k_t c_B \rho_B} \cdot \frac{m \cdot n}{v_{x,max} \cdot \Delta t_{x,max}}}, \quad (3)$$

где величину  $y$  принимают: для компактной струи по схеме «сверху-вниз»  $y = 0$ ; для конической веерной струи при создании наиболее равномерного поля

$$y = \sqrt{(0,3 \dots 0,5) F_{n1} / \pi}$$

для настилающейся вдоль потолка и спускающейся по стене струи  $y = b$  – ширине помещения в направлении развития струи, а  $x_p = b + (h_{ном} - h_{p,з})$ . На основе предложенной зависимости (3) разработана номограмма (рис. 5) для выбора типа струи ( $m \times n$ ) по ее расчетной длине  $x_p$  и в зависимости от удельных теплоизбытков помещения  $q_F$  (кВт/м<sup>2</sup>) и площади помещения, обслуживаемой одним ВРУ  $F_{n1}$ . Значения  $m$  и  $n$  с дополнительным уравнением связи  $m \approx 1,2 n$ , а также комплекса ( $m \times n$ ) для разных типов ВРУ, как настенных, так и потолочных, можно найти в текущих каталогах производителей воздухораспределительных устройств, например, компании «Арктос» [2]. Для других размеров  $a \times b$ , площади  $F_{n1}$ , обслуживаемой одним ВРУ, комплекс  $m \times n$  определяют по номограмме (рис. 5) при  $q_F = Q/(a \times b)$ .

### Выводы.

В статье описаны отечественные и международные подходы специалистов-аэродинамиков и гигиенистов к комплексной оценке микроклимата помещений. Грамотное использование этих методов позволяет обеспечивать реальный микроклиматический комфорт в помещениях разного назначения, улучшать общее самочувствие и работоспособность персонала, снижать заболеваемость, что в результате обязательно приведет к ощутимому социально-экономическому эффекту на производстве, связанному с повышением эффек-



тивности/производительности труда и качества продукции, ростом продаж товаров и услуг, увеличением прибыли. Далеко не все параметры микроклимата помещений (особенно в их взаимной зависимости) на сегодняшний день исследованы до конца, нельзя назвать совершенными действующие нормативные документы и стандарты (в т. ч. зарубежные), однако следует констатировать, что отечественное нормирование в данной области отстает от зарубежного, а практика отечественных инженеров и гигиенистов по-прежнему не учитывает многие наработки мировой науки, широко применяемые за рубежом. Представленный в статье материал должен быть интересен проектировщикам, наладчикам и службам эксплуатации.

### Литература

1. Авторское свидетельство № 637595. Способ поддержания температурного режима в кондиционируемом помещении//А. Г. Сотников, З.Ш. Эльяшов. Бюллетень изобретений. 1988, № 46.
2. Воздухораспределители компании «Арктос»//Указания по расчету и практическому применению. Изд. 5-е, СПб, 2008.
3. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны/Утв. Гл. гос. сан. врачом РФ 27.04.2003 г. Введ. с 15.06.2003 г.
4. ГОСТ Р ISO 7730-2009. Эргономика термальной среды. М.: Стандартинформ, 2009.
5. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. М.: Стандартинформ, 2008. 44 с.
6. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Введ. с 1999.
7. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М.: изд-во стандартов. 1999. 75 с.
8. Гримитлин М. И. Распределение воздуха в помещениях. Изд. 2-е, С-Пб, 1994, – 316 с; изд. 3-е, доп. и испр. АВОК С-3, С-Пб 2004. 320 с.
9. Гримитлин М. И., Позин Г. М. Выбор параметров систем воздухообмена в производственных помещениях. В кн.: Исследования различных способов воздухообмена в производственных помещениях. ВЦНИИОТ, М.: 1975, с. 26...43.
10. Дударев А. А., Сорокин Г. А. Актуальные проблемы гигиены труда и профессиональной патологии офисных работников//Медицина труда и промышленная экология, 2012, № 4.
11. Дударев А. А. Современные подходы к изучению микроклиматического комфорта в офисных помещениях//АВОК, 2009, – № 4. С. 72–78.
12. Карпис Е. Е. Новые единицы для оценки качества воздуха в жилых и общественных зданиях//Водоснабжение и санитарная техника. 1989. № 6. С. 27–28.
13. Ловцов В. В., Хомуцкий Ю. Н. Системы кондиционирования динамического микроклимата помещений. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Стройиздат, 1991. 150 с.
14. Малявина Е. Г. Новый ГОСТ на параметры микроклимата жилых и общественных зданий//АВОК. 1999. № 5. С. 5–10.
15. Методические рекомендации по анализу социально-экономической эффективности применения кондиционирования воздуха для улучшения условий труда. – Л. В. Павлухин. ВЦНИИОТ, Л.: 1977. 42 с.
16. Павлухин Л. В., Тетеревников В. Н. Производственный микроклимат, вентиляция и кондиционирование воздуха/Основы нормирования и эффективность применения. М.: Стройиздат, 1993. 216 с.
17. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормативы. 1996.



Институт  
Современного  
Строительства

## ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ КУРСЫ, СЕМИНАРЫ, ПРЕДАТТЕСТАЦИОННАЯ ПОДГОТОВКА И АТТЕСТАЦИЯ

### В СЛЕДУЮЩИХ ОБЛАСТЯХ:

- Строительство
- Проектирование
- Инженерные изыскания
- Энергоэффективность
- Пожарная безопасность
- Пожарно-технический минимум
- Охрана труда и др.

## Фундаментальные ЗНАНИЯ

[www.insstroy.ru](http://www.insstroy.ru)

тел/факс: +7 (812) 449 59 59 | e-mail: [info@insstroy.ru](mailto:info@insstroy.ru)

кроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормативы. 1996.

18. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: Госстрой России, 2004. 54 с.

19. Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Т. I, СПб.: AT-Publishing, 2005. 504 с.; т. II, ч. 1, СПб.: AT-Publishing, 2006. 420 с.; т. II, ч. 2, СПб.: AT-Publishing, 2007. 512 с.

20. Тетеревников В. Н., Павлухин Л. В. Обоснование выбора параметров воздуха в кондиционируемых помещениях// В кн.: Повышение эффективности и качества оборудования и СКВ. Л.: ЛДНТП, 1978. С. 28–31.

21. Int-Hout D. Практика выбора воздухораспределителей//АВОК. 2005. № 3. С. 38–42.

22. H. Yang, I. Burnett, K. Lau, L. Lu. Сравнение центральных СКВ с автономными типа «сплит»//АВОК, 2001, № 4, с. 36–39.

23. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 and 55-1992). Atlanta, GA: ASHRAE. 2010.

24. ISO 7730:2005. International Standards Organization (ISO). Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, Switzerland: ISO. 2005.

25. Fanger P. O. Calculation of thermal comfort: Introduction of a basic comfort equation // ASHRAE Transactions, 1967. — 73(2), III 4.1–III 4.20.

26. Fanger P. O., Melikov, H., Hanzawa, H., & Ring, J. Air turbulence and sensation of draught//Energy and Buildings, 1988. — 12, 21–39.