

**Тимофеева Е.И.
Федорович Г.В.**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА**

Москва 2005

ВВЕДЕНИЕ

Занимаясь несколько лет тому назад проблемами экологического мониторинга среды [1], авторы были заинтригованы определенной неадекватностью структуры приоритетов, сформировавшейся в научном сообществе. Считается, что наиболее значительны успехи научно-технического прогресса в областях атомной энергии, космических исследований, информационных технологий, в последнее время к ним прибавилась геноинженерия. Общепринятая самоочевидность этого мнения натораживает. Если провести сколько-нибудь внимательное, непредвзятое сопоставление этих, действительно ярких и впечатляющих успехов с вполне рутинными, практическими результатами коммунальной гигиены, необходимо создается впечатление о вторичности первых по отношению к последним. Гигиена сама по себе не сводится к какому-то отдельному направлению исследований, а является скорее сложным видением мира, связывающим воедино биологию, физику, химию, медицинские науки (микробиологию, эпидемиологию, токсикологию) и социально-экономические науки. Попытка дать более-менее полное описание этой системы, в конечном счете приводит к описанию всего образа жизни. Это признак высокой эффективности науки, создающей парадоксальную целостность вещей, на первый взгляд не имеющих друг к другу никакого отношения. Достижения коммунальной гигиены представляются обыденными, само собой разумеющимися. Не следует, однако, думать, что они таковы на самом деле.

Ретроспективный взгляд на процессы в обществе, обусловившие и сопровождавшие становление гигиены как науки, помог авторам расставить адекватные, по их мнению, акценты в приоритетах научного сознания.

§ 1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

Элементы санитарных правил можно обнаружить в исторических документах древних государств. Известны санитарные предписания в своде законов Древней Индии; в них указывалось на необходимость смены белья и одежды, ухода за кожей и зубами, рекомендовалась растительная пища и запрещались излишества в еде. В Древнем Египте за 1500 лет до н. э. осуществлялись санитарные мероприятия по оздоровлению населенных мест. В иудейском Моисеевом законодательстве были регламентированы гигиенические правила всех сторон частного и общественного быта древних евреев.

Первые систематические труды на эту тему принадлежат ученому и врачу Древней Греции Гиппократу (460-377 до н. э.). Это были трактаты «О здоровом образе жизни», «О водах, воздухе и местностях» и др. В них он отрицал сверхъестественные причины или божественное происхождение болезней, правильно оценивал влияние на здоровье человека таких факторов, как климат, погода, состояние почвы, воды, особенности питания, образа жизни и привычек, избыток или недостаток физических упражнений и т. д., а также и «законы страны и формы государственного устройства». Он писал, что болезнь есть результат жизни, противоречащей природе, поэтому врач, чтобы исполнять свои обязанности, должен тщательно наблюдать, как человек относится к пище, питью и всему, что его окружает.

Наибольшего расцвета гигиена (хотя и не как специальная наука, а как набор практических рекомендаций) достигла в Древнем Риме, который среди прочего прославился своим водопроводом и общественными банями.

В средние века (VI-XIV) вместе с упадком античных государств и древней античной культуры были забыты и многие положения гигиены. Темные века с их раздробленностью государств, постоянными междоусобицами, войнами и грабежами тормозил развитие науки вообще и гигиенических знаний в частности. Христианская религия, распространившаяся к тому времени в Европе, также не способствовала прогрессу гигиены, так как проповедовала аскетизм и самоотречение, объявляла заботу о теле и здоровье делом второстепенным и даже греховным. Суеверие, грязь и нечистоплотность, отсутствие у населения элементарных гигиенических навыков способствовали возникновению и распространению инфекционных заболеваний – чумы, оспы, проказы, венерических болезней и т.д.

Населенные пункты, и в первую очередь города, содержались в антисанитарном состоянии. Канализация и водопровод отсутствовали; все нечистоты, в том числе хозяйственно-бытовые воды, выбрасывались и выливались на улицы. Личная гигиена находилась на крайне низком уровне, бань почти не было, нательным и постельным бельем не пользовались даже в высших слоях общества; насекомые-паразиты имели массовое распространение. Смерть детей от вшивости случалась даже в королевских семьях. Некоторые исследователи объясняют упадок гигиены отсутствием водоснабжения в быстро растущих городах. В эпоху Ренессанса в Париже вода была на вес золота, на весь город имелось около сорока колодцев и такое же количество фонтанов. Профессия водоносов, разливавших ледяную воду, стала популярной и хорошо оплачиваемой, так как источники воды были расположены далеко от города и идти было далеко. Историки подсчитали, что средняя парижская семья в неделю тратила 12-15 ведер для всяких нужд, включая стирку, мытье, полоскание. Количество купален и бань сократилось, на 1000-1200 жителей приходилась одна ванная, поубавилось и умывальной утвари.

Теперь наличие ванны стало символом богатства, вместе с тем даже в богатых домах ваннами пользовались редко. В королевских дворцах в Париже, насчитывающих более 200 покоев, для туалетной комнаты отведена маленькая каморка. Вошло в обычай ванну принимать только в случае болезни, а в обычные дни ограничивались протиранием рук и лица ароматическими эссенциями, используя ватные тампоны. Строительство во Франции королевского дворца в Версале было вызвано также и большой загрязненностью старого дворца королей в Лувре и обилием там клопов.

История средних веков оказалась историей огромных эпидемий страшных болезней (чума, черная оспа, туберкулез, сифилис и др.), приведших к гибели многие миллионы людей, к вымиранию населения целых областей. Как же боролись с этими болезнями? Врачи тщетно искали «жизненный эликсир» как универсальное средство от всех болезней, прочие граждане усиленно молились, совершали паломничества к «святым местам». И все это происходило на фоне отсутствия даже следов санитарной культуры и каких-либо санитарно-технических сооружений. Достаточно сказать, что в средневековых городах нечистоты выливались прямо на улицу, водоснабжения и канализации не было.

В этих условиях развитие гигиенических знаний и внедрение гигиенических рекомендаций становилось буквально вопросом жизни и смерти.

Лишь отдельные очаги науки и культуры продолжали хранить и развивать наследие ученых древности. С IX века в Италии (Салерно) существовал университет,

в котором идеи Гипократа и Галена получили широкое развитие. На Востоке выдающуюся роль в развитии медицины сыграл знаменитый ученый Абу-Али ибн-Сина, известный в Европе под именем Авиценны (980-1037). Он разработал многие гигиенические правила об устройстве и содержании жилищ, одежды, указал на возможность распространения болезней через почву и воду. Появляются лечебники, содержащие гигиенические советы.

В России зачатки эмпирических знаний гигиены возникли очень давно – еще в Киевской и Новгородской Руси. В трактате о быте зажиточной русской семьи «Домострое» много внимания уделяется чистоте и опрятности, особенно в обращении с пищевыми продуктами.

Позже, с началом формирования Московского государства, возникла потребность в научных медицинских знаниях и врачебных кадрах. Аптекарский приказ, основанный в начале XVII в. для медицинского обслуживания московского царя, его семьи и приближенных, начинает распространять свою деятельность на все государство и прежде всего на войско. В 1615 г. вводится должность полкового врача. При Петре I Аптекарский приказ переименован в Медицинскую канцелярию и во главе ее поставлен врач.

XV и XVI века ознаменовались зарождением промышленного производства, что повлекло за собой развитие наук и искусств, в том числе и современного естествознания. Медицина, преодолевая религиозные, схоластические представления о болезни и ее причинах, о функции и строении организма, становится на научный путь развития. Врач и химик Парацельс (1493-1541) изучает болезни обмена веществ, профессиональные заболевания горнорабочих, ранения и вопросы медицинской химии. Врач и астроном Джироламо Фракасторо (1478-1553) обобщает наблюдения над путями распространения инфекций и пишет трактат «О заразных болезнях» (1546). В 1700 г. вышел трактат итальянского ученого Б. Рамаццини «Рассуждение о болезнях ремесленников» – первый научный труд по гигиене труда. В классическом произведении немецкого ученого И. П. Франка «Система медицинской полиции» (1779-1827) говорилось о социальном значении здоровья. В 1797 появилась «Макробиотика» (искусство продления жизни) немецкого врача К. В. Гуфеланда. Прусский пастор Зюссмильх в 1742 г. выпустил свой «Божественный порядок в изменениях человеческого рода», положивший начало медико-санитарной статистике и демографии.

В 1788 году выходит первое капитальное шеститомное сочинение по всем вопросам общественной гигиены Петера Франка (1745-1821) «Полная система медицинской полиции», а в 1796 году – «Макробиотика» Х.В.Гуфеланда – по всем вопросам личной гигиены. В этих двух книгах подводится итог эмпирическому, созерцательно-му периоду развития гигиены, основанному на житейском опыте.

Дальнейший прогресс науки, общественной жизни и культуры выдвинул новые задачи перед гигиенической наукой и практикой. Для их решения потребовались научно обоснованные положения, базирующиеся на точных исследованиях и эксперименте.

Первыми крупными сочинениями, отвечающими этим требованиям, было руководство по гигиене Мишеля Леви, вышедшее в 1844 году в Париже, и руководство по экспериментальной гигиене английского врача Э.Паркса (1819-1876), опубликованное в 1854 году в Лондоне. Дальнейшее развитие экспериментальное направление получило в трудах и практической деятельности выдающегося ученого Макса Петтенкофера (1818-1901) и созданной им школы гигиенистов. Его многочисленные методические ра-

боты по исследованию отдельных элементов внешней среды (воды, воздуха, пищи, почвы) превратили гигиену в точную науку и отвечающую насущным потребностям жизни людей санитарную практику. В 1865 г. на медицинском факультете Мюнхенского университета Петтенкофер организует первую в истории медицины кафедру гигиены.

К этому времени относится деятельность таких крупных ученых микробиологов, физиологов и гигиенистов, как Луи Пастер (1822-1895), Роберт Кох (1843-1910), Карл Фойт (1831-1908), Уилбур Этуотер (1844-1907), Макс Рубнер (1854-1932) и других. Их открытия в области микробиологии (Л. Пастер, Р. Кох), исследования качественной и количественной стороны питания, нормирования калорийности пищи (К. Фойт), энергетического обмена и преобразования питательных веществ (У. Этуотер, М. Рубнер) заложили научную основу гигиены как профилактической медицинской дисциплины.

Развитие экспериментальной гигиены в России связано с именами А. П. Доброславина [2] и Ф.Ф.Эрисмана [3], заложивших основы развития общей, жилищной и школьной гигиены, гигиены труда и питания. Развиваясь столь же интенсивно, как и в западно-европейских странах, гигиеническая наука в России имела свои особенности. Русские гигиенисты XIX в. широко применяли санитарно-статистические методы исследования. Ф.Ф. Эрисман и московские земские санитарные врачи Е. А. Осипов, П. И. Куркин, С. М. Богословский создали русскую школу изучения физического состояния и заболеваемости на основе учета и гигиенической оценки демографических данных (рождаемость, смертность и естественный прирост населения, заболеваемость и физическое развитие, данные санитарно-топографического характера). В XIX в. выдвинулась плеяда видных санитарных деятелей: И. И. Моллесон, Е. М. Дементьев, Д. Н. Жбанков, А. В. Погожев, П. А. Песков, Н. И. Тезяков и др. Важную роль в развитии гигиены сыграли гигиенисты В. Хлопин [4], уделявший много внимания методике гигиенических исследований, и А. Н. Сысин, разрабатывавший многие вопросы общей и коммунальной гигиены.

Вред антисанитарного состояния городов и жилищ, жизненного уклада граждан был настолько ясен, опасность тяжелых эпидемических заболеваний столь велика, а эффект гигиенических рекомендаций столь очевиден, что работы врачей – гигиенистов находили безоговорочную поддержку как властей, так и населения. В европейских государствах начали появляться первые зачатки общественного здравоохранения. В XVI-XVII вв. города стали очищаться от мусора и нечистот, затем стали строить тротуары, освещать улицы и т. д. Так, в Париже в 1780 году указом короля было запрещено выливать нечистоты на улицу, что до того времени было обычным делом. Через два года в том же Париже впервые в мире были устроены тротуары, хотя следует отметить, что в центре Берлина в это время еще существовали общественные выгоны для скота.

В России издается ряд указов об охране здоровья населения, в частности, о надзоре за санитарным состоянием городов (1737), о санитарных условиях на суконных фабриках («Регламент», 1741), об обязательном извещении в случае заразных болезней («Наказ губернаторам и воеводам», 1743).

Водопровод и канализация появляются в городах Европы со второй половины XIX в. Современные правила гигиены в Европе стали внедряться только к концу XIX в. Постепенно в сознание людей входила простая, но очень важная мысль, что гигиена – наука, рекомендации которой имеют общественное значение, выполнение их самым непосредственным образом отражается на здоровье и благополучии не

только отдельных граждан, но и всего общества в целом. К началу XX века в ряде стран изданы законодательные акты касающиеся санитарии и гигиены: например, «Акт об общественном здоровье» (1875) в Великобритании или «Закон об охране общественного здоровья» (1902) во Франции. Постепенно усилия врачей-гигиенистов начали приносить свои плоды. Улучшилось санитарное состояние городов, качество воды и пищи. Отошли в прошлое массовые эпидемии.

В связи с ростом городов и промышленности, возникновением новых и реконструкцией старых районов, переустройством сельского хозяйства появилась потребность в научной разработке вопросов планировки населенных мест, жилищного строительства, в изыскании и апробации новых источников водоснабжения; все более актуальными становились вопросы борьбы с загрязнением источников воды, атмосферного воздуха и территории населенных мест выбросами промышленных предприятий [5]. Крупные промышленные фирмы строили жилые поселки для рабочих уже в XIX в. Такое строительство соответствовало интересам хозяев фирм, т. к. способствовало созданию потомственных кадров рабочих, зависимых от предпринимателя. В конце XIX – начале XX вв. начинается «социальное» (т. е. муниципальное и кооперативное с помощью государственных субсидий и ссуд) строительство жилья. Строительство регламентировалось законодательно утвержденными нормами и требованиями, что позволяло улучшить благоустройство квартир (например, обязательное наличие водопровода, канализации и отдельной уборной). Однако широкое распространение «социальное» строительство т. н. дешевых квартир для рабочих получило лишь в Европе в 1920-х гг. в условиях острого жилищного кризиса. Оно оказало большое влияние на дальнейшее улучшение жилья и на архитектуру и градостроительство XX в. в целом. Строились жилые комплексы и поселки с экономичными многоэтажными (преимущественно не более 4 этажей) и малоэтажными домами: секционными, галерейными и блокированными. При всех различиях социальной строительной политики в европейских странах общим было стремление улучшить их санитарно-гигиенические качества: продуманное расположение дома на участке и стандартное квартирное оборудование обеспечивали их наиболее благоприятные и равноценные проветривание и инсоляцию; внедрялись современное санитарно-техническое оборудование, центральное отопление, электричество, встроенная мебель и кухонное оборудование [5].

В Европе и Америке вполне приемлемое жилье, как с точки зрения гигиены (канализация, водопровод, ванна, душ или, по крайней мере – умывальник) так и с точки зрения микроклимата (отопление, вентиляция) стало доступным широким слоям населения. Это не замедлило сказаться, причем очень заметно, на здоровье людей и продолжительности их жизни. Например, на рис. 0.1.1 приведены статистические данные [7] об изменениях продолжительности жизни в некоторых странах в конце XIX-го – начале XX-го веков.

На этом графике представлен впечатляющий результат – в 20 веке жизнь людей разных стран на различных континентах удлинилась более чем в полтора раза (в Чили – почти втрое). По значимости это расширение временных границ жизни можно сравнить разве лишь с Эпохой Великих Географических Открытий, которые примерно также раздвинули пространственные границы мира. Поразительно – но это прошло почти незамеченным «широкой общественностью». Если с практическими, представляющимися вполне рутинными, успехами коммунальной гигиены сопоставить достижения в космосе, атомной технике и информационных технологиях, то последние, на наш

взгляд, сравнительно с первыми, стоят очень немного. Здесь уместна аналогия с удивительным феноменом человеческой психики, с которым не раз сталкивались мореплаватели этой же Эпохи. Когда парусник входил в бухту какого-нибудь впервые обнаруженного европейцами острова и бросал якорь неподалеку от берега, то местные туземцы, бывало, по несколько дней могли игнорировать появление корабля. В системе их представлений о мире столь огромных размеров лодок просто не существовало, а потому корабль как бы не замечали. Похоже, что подобное поведение свойственно не только человеческим существам на первобытном уровне развития.

Изменение продолжительности жизни в XIX - XX вв.

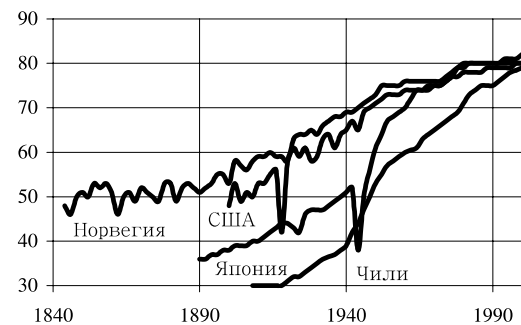


Рисунок 0.1.1

Феномен роста качества жизни, ассоциирующийся с достижениями гигиенической науки, не занимает в ней центрального места и существует как бы на ее периферии, служа одним из ее практических подтверждений – тем самым «критерием истины», который оправдывает существование самой гигиены как науки. Она, однако, не сводится к отдельному направлению исследований, а сплетает воедино биологию, физику, химию, медицинские науки (микробиологию, эпидемиологию, токсикологию) и социально-экономические науки. Результаты должны вызывать, по крайней мере, удивление. Но не вызывают, и даже не всегда ясно осознаются из-за их обыденности, некоторой рутинности. Они давно воспринимаются как нечто само собой разумеющееся, хотя таковыми не являются.

Но главное, конечно, не в этом, а в том, что каждый раз (и в случае с географическими открытиями и с продлением сроков жизни) проявляется некое нерасчлененное единство, некий принцип, который сам по себе не может быть сформулирован, несмотря на крайнюю простоту. Подлинная ситуация здесь слишком сложна и не поддается описанию в тексте приемлемого размера. Только при воспроизведении ее с некоторыми упрощениями, она становится вполне очевидной.

Выросли возможности, как отдельного человека, так и общества в целом.

Известно образное сравнение истории человечества с марафонским бегом на 60 км. Оно принадлежит швейцарскому инженеру и философу Густаву Эйхельбергу, который в книге «Человек и техника» предложил представить, что одному километру соответствуют 10 тысяч лет. Если следовать этой аналогии, оказывается, что подавляющая часть пути пролегает через девственные леса. Только на 58-59 километрах об-

наруживаются, наряду с первобытными орудиями, пещерные рисунки как первые признаки культуры, и только на самом последнем километре появляется все больше признаков земледелия. За 200 метров до финиша дорога, покрытая каменными плитами, ведет мимо римских укреплений. За сто метров до финиша появляются средневековые городские строения. До финиша остается еще 50 метров – там можно встретить следящего за бегом Леонардо да Винчи. Последние 10 метров начинаются при свете факелов. Но при броске на заключительных пяти метрах происходит ошеломляющее чудо: электрический свет заливает ночную дорогу, повозки без тяглового скота мчатся мимо, машины шумят в воздухе и улетают в космос, и пораженный бегун ослеплен светом прожекторов фото- и телекорреспондентов. «Ошеломляющее чудо», о котором здесь говорится, осуществлено благодаря науке.

Стремительный прогресс науки сопровождается изменением ее места и роли в общественной жизни.

Наука перешагнула порог кабинетов ученых, исследовательских бюро и лабораторий. Она проникает во все поры человеческой жизни, становясь теоретической основой социальной практики в самых различных ее проявлениях. В первую очередь это происходит в области материального производства. Научный и технический прогресс сливаются в единый поток, преобразующий остальные стороны общественной жизни. Поскольку продукты человеческого труда теперь овеществляют в себе силу научного знания, являются материализованными сгустками научной мысли, с наукой и ее плодами современный человек сталкивается буквально на каждом шагу – в сферах производства, культуры, быта.

Есть много правильных и верных определений научного прогресса. Здесь не место серьезным попыткам сколько-нибудь полно осветить эту тему. Но две из основных имеющихся первопричин мы назовем: первая – информация, приходящая к человеку из окружающего мира, и вторая – мысль, выданная человеком, предварительно рожденная от поступившей информации, выраженная и переработанная, а также материализованная в действие путем сообщения, связи, коммуникации. Ушедший XX и наступивший XXI в. – это век информатизации, распространяющейся в геометрической прогрессии. Наличие информации дает возможность человечеству находить наиболее правильные решения, воплощая их в жизнь за счет путей сообщения, то есть коммуникаций. Современное общество, которое можно сейчас называть по-разному в самом широком смысле: «постиндустриальное», «информационное» и т.д., характеризуется тем новым и совершенно особым местом, которое занимает в нем информация и знания. Уже сегодня в наиболее развитых странах основные области промышленного и сельскохозяйственного производства, связь, коммуникации, быт и развлечения, образование и духовная жизнь прочно опираются на достижения фундаментальных наук, становясь все более и более наукоемкими. Поиск, создание, хранение, смысловая трансформация, распространение информации и знаний становится самым важным для цивилизации.

Очевидно, что существует множество факторов, которые определяют успешное функционирование науки в обществе: стабильное макроэкономическое положение, гибкое и эффективное правительство, развитая инфраструктура, образованное население, качественное здравоохранение. Однако несомненно, что для того, чтобы человек (а именно он, в конечном счете и является двигателем прогресса) смог усвоить необходимую информацию, переработать ее и «запустить в оборот» конечный продукт

своих усилий, ему необходимо время – долгая и спокойная жизнь. Современный специалист становится таковым годам к 30, и будь это 100 – 200 лет назад, ему оставалось бы лет 5 более-менее плодотворной деятельности. В наше время ему отпущен срок раз в 5 – 7 больший. Есть веские основания полагать, что именно это обстоятельство и определяет динамику развития материальных и духовных благ в современном обществе.

Кое-кто, пожалуй, заметит, что вывод тут, несомненно, предшествует «доказательствам». Но кто же стал бы искать доказательств тому, во что сам не верит и в поведении чего сам не заинтересован.

§ 2. О СОДЕРЖАНИИ КНИГИ

Мониторинг метеопараметров среды обитания представляет собой раздел санитарной гигиены, в свою очередь являющейся подразделом коммунальной гигиены и далее – гигиены общей. Основными разделами современной коммунальной гигиены являются: гигиена воздуха населенных мест и его санитарная охрана, гигиена воды и водоснабжения, гигиена почвы и санитарная очистка населенных мест, санитарная охрана водоемов и обезвреживание бытовых и промышленных сточных вод, гигиена жилищ и общественных зданий, гигиена планировки населенных мест и их общее санитарное благоустройство. Коммунальная гигиена использует различные методы исследования: физический, химический и биологический для изучения внешней среды, физиологический, санитарно-токсикологический и клинико-статистический при изучении влияния внешней среды на организм и здоровье человека, метод санитарно-топографических описаний и обследований, который, как правило, сочетается с экспериментальными исследованиями.

Цель последующего – дать более-менее систематическое изложение одного из подразделов (проблемы экологического мониторинга параметров микроклимата жилых и производственных помещений) современной коммунальной гигиены. С скромностью задачи осознана и обуславливается стремлением провести единую информационную линию от «первых принципов» (физиологии и физики теплообмена), через методологические и законодательные основания экологического мониторинга к вопросам его аппаратного обеспечения. Каждый из отмеченных разделов представляет собой вполне самостоятельную дисциплину, которую можно рассматривать под различными углами зрения. Авторы видели свою задачу в том, чтобы подобрать эти углы так, чтобы каждый раздел можно было бы увидеть и критически осмыслить с позиций и в системе понятий любого другого раздела. Такой способ изложения должен обладать некоторыми свойствами оптической системы, узлы которой удобно выполнить с помощью их описания, оставив подсознательную визуализацию и сборку читателю. Именно так им (авторам) представляется требование единства предмета изложения.

Обзор физиологических оснований гигиены, проведенный в гл. 1, имеет целью свести в одном месте результаты, полученные в различных подразделах физиологии – терморегуляции, дыхания, сердечно-сосудистой системы, мышечной активности и пр. При взгляде на эти направления с точки зрения воздействия окружающей среды на человека, представляется, что указанные подразделы физиологии занимаются одним и тем же – физиологией поддержания гомеостаза. Результаты, представляющие интерес с этой точки зрения обобщены в гл. 1. Именно:

- физиология (градация) теплоощущений, связь с характеристиками теплового состояния человека, физиология комфорта;
- эффективность физической и умственной работы в зависимости от теплоощущений
- человек в покое – температура тела и кожи, потеря влаги и водно-солевой обмен, показатели гемодинамики, функции система дыхания, сердечно-сосудистая система;
- физиология теплообмена между телом и окружающей средой, энергетические параметры метаболизма, энергетические параметры физической деятельности человека, изменение показателей теплового состояния при работе;
- работающий человек – система дыхания, сердечно-сосудистая система, температура тела и кожи, влаготеплопотери при работе;
- физиология терморегуляции, тепловой баланс и терморегуляция в охлаждающем микроклимате, особенности кровообращения в коже, изменения системного кровообращения, теплоотдача испарением в условиях острого охлаждения, система дыхания в условиях охлаждения, энергетическая стоимость терморегуляторных реакций при работе;
- тепловой баланс и терморегуляция в нагревающем климате, роль потоотделения в нагревающем микроклимате, терморегуляторные реакции при работе в условиях перегрева, сердечно-сосудистая система, система дыхания в нагревающем микроклимате, критерий состояния терморегуляторной функции, работоспособность в условиях нагревающего микроклимата;
- адаптация человека к экстремальным условиям микроклимата – холоду и жаре;
- заболевания, связанные с переохлаждением и перегревом организма.

В гл. 2 дано систематическое изложение вопросов о механизмах и параметрах теплообмена организма с окружающей средой. Серьезные целенаправленные исследования в этой области начались в XX веке. По ряду причин (недостатки аппаратного обеспечения измерений, ошибочность концептуальной базы исследований и пр.) здесь накопилось много «мусора» – определенная путаница в используемых терминах, неопределенность оснований, фрагментарность и противоречивость выводов и пр. Например, были введены различного рода «эффективные», «действующие», «ощущаемые» и пр. параметры, конструировались приборы для измерения этих химерических величин, результаты интерпретировались в терминах, никак не определенных и нигде более не употребляющихся. На Западе соответствующая «чистка» этого раздела науки была проведена в 80-х годах прошлого века П.О.Фангером, который в своих исследованиях использовал только термодинамически оправданные параметры. В работах российских исследователей и даже в соответствующих нормативных документах продолжают использоваться приборы, методики измерения и величины, метрологически неопределенные и неаттестуемые. В этой главе определены термодинамические параметры микроклимата – температура, теплота, испарение и влажность воздуха. Рассмотрена простейшая модель теплообмена конвекцией и кондукцией. Описывается энерговыделение при легочном воздухообмене. Исходная модель уточняется путем учета теплообмена излучением, включения системы потоотделения. Обсуждается риск перегрева тела.

В гл. 3 проведен анализ теплоощущений человека в зависимости от параметров микроклимата. Принцип, закладываемый в основу этих исследований, сводится к следующему. Сами по себе определения потоков тепла и условия теплового баланса, приведенные в гл. 2, не содержит оценок параметров микроклимата. Категории оценки должны быть внесены в процедуру анализа извне, дополнительно к балансовым сооб-

ражениям. Это и делается в гл. 3 с использованием результатов, приведенных в гл. 1. Последовательно придерживаясь точки зрения, сформулированной в гл. 2, мы считали, что вклад в теплообмен на границе организм – окружающая среда может быть описан только в тех терминах, которые описывают сами процессы теплообмена. Иными словами, значение перечисленных в гл. 2 соотношений состоит в том, что входящие в них параметры исчерпывают все, что может быть использовано для субъективных оценок микроклимата. Никакая «эффективная», «оперативная» или «эквивалентная эффективная» температуры, никакие «каты» не могут быть использованы для оценки микроклимата, кроме тех, которые могут быть выражены через рутинные термодинамические переменные, но если это можно сделать, нужда во введении дополнительных переменных отпадает сама собой. Никакого самостоятельного значения они не имеют и могут появляться только как вспомогательные переменные, упрощающие запись и анализ термодинамических соотношений.

В гл. 4 описана законодательная база, регламентирующая безопасность среды обитания для жизни и охрану труда в РФ. В основе санитарной регламентации лежат исследования по частной гигиене труда и быта. В ходе этих исследований изучаются характер технологических процессов, производственного оборудования и рабочих операций, условия и характер труда, состояние здоровья и заболеваемость с временной утратой работоспособности отдельных профессиональных групп. Исследования проводятся, как правило, комплексно силами ряда специалистов: гигиенистов, профпатологов, химиков, инженеров по вентиляции, светотехников, инженеров-технологов и пр.

Конечным результатом исследований по гигиене труда является разработка санитарных правил и норм проектирования отдельных производств и организации рабочих процессов. Их соблюдение является обязательным для граждан, предпринимателей и юридических лиц, а за их нарушение следует дисциплинарная, административная и уголовная ответственность. Основным документом, регламентирующим гигиенические требования к микроклимату помещений являются Санитарные Правила и Нормы (СанПиН), вводимые и утверждаемые Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

В той же гл. 4 формулируются основные термины и определения в области нормирования показателей микроклимата: характеристики теплового состояния человека, характеристики микроклимата, климатические зоны, сезоны (периоды года), тяжесть труда, виды помещений, оптимальные и допустимые условия, регламентация трудовой активности. Далее описываются принципы построения нормативных документов, перечисляются нормы, стандарты, правила, обсуждаются также особенности подхода к нормированию микроклимата в детских учреждениях.

Даны методические рекомендации по контролю показателей микроклимата в производственных условиях и в помещениях в жилых и общественных зданиях. Определяются стадии планирования и проведения измерений, оформления результаты.

Кратко описываются подходы к нормированию и мониторингу параметров микроклимата на Западе.

В гл. 5 описано аппаратное обеспечение экологического контроля параметров микроклимата. Парк аппаратных средств контроля параметров микроклимата, используемых в настоящее время, включает широкую гамму измерительных приборов. Эти приборы применяются при производстве, эксплуатации и техническом обслуживании вентиляционного и отопительного оборудования, систем кондиционирования и увлаж-

нения воздуха и пр. Предлагается широкий выбор измерителей для выполнения различных измерительных задач. Перечень отечественных приборов, предназначенных для экологического контроля, состоит из десятков типов приборов, если сюда включить приборы зарубежных фирм, их число перевалит сотню. Цель изложения в гл. 5 – помочь сделать осознанный выбор оптимизированный по отношению цена / качество. При выборе измерителя следует принимать во внимание не только выполняемые функции, такие как перечень измеряемых параметров, точность, быстродействие, но и качество прибора, его надежность, стоимость обслуживания, универсальность применения, возможность работы в составе измерительной системы.

В гл. 5 также обсуждаются принципы работы сенсоров приборов для измерения различных параметров микроклимата – термометров, пирометров, гигрометров, анемометров. Описываются общие характеристики аппаратуры мониторинга микроклимата – приборы для измерения параметров сигналов без анализа их характеристик, процессорные Измерители, измерители параметров сигналов с анализом их статистических характеристик. Обсуждаются возможности приборов с самотестированием и автокалибровкой, снабженные системой интерфейса для объединения приборов в сеть.

В последнее время появились приборы комплексного экологического контроля, позволяющие проводить одновременное измерение всех, представляющих интерес параметров микроклимата. Класс таких приборов представляет описание одной из последних разработок в этой области – измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп». В программу работы этого прибора заложены критерии комплексного биологического воздействия метеопараметров. Учитывается, что в задачах экологического контроля необходимы длительные серии измерений довольно переменных величин, поэтому к прибору предъявляются жесткие требования по стабильности и длительности автономных измерений с возможностью запоминания длинных рядов данных.

Основные положения науки об экологическом мониторинге параметров микроклимата резюмированы в Заключении книги:

- сформулированы практические рекомендации по выбору средств и методов проведения измерений,
- изложены принципы всестороннего анализа результатов с точки зрения их гигиенической содержательности,
- обсуждаются основы выработки заключения о соответствии законодательным нормам результатов конкретных исследований.

ЛИТЕРАТУРА К ВВЕДЕНИЮ

1. ПЛЕХАНОВ Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. Изд. Томского Университета. Томск, 1990.
2. ЯКОВЛЕВА М.И. Физиологические механизмы действия электромагнитных полей. Л.: Медицина, 1973. – 175 с.
3. Электромагнитные поля и здоровье человека. Материалы 2-й Международной конференции «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования. Нормирование ЭМП: философия, критерии и гармонизация» (20–24 сентября 1999 г., г. Москва). М., 1999. – 406 с.
4. РУДАКОВ М.Л. Электромагнитная безопасность в промышленности. СПб.: Политехника, 1999. – 91 с.

5. РУДАКОВ М.Л. Электромагнитные поля и безопасность населения. СПб.: Русское географическое общество, 1998. – 32 с.
6. СУВОРОВ Г.А., ПАЛЬЦЕВ Ю.П., ХУНДАНОВ Л.Л. и др. Неионизирующие электромагнитные излучения и поля (экологические и гигиенические аспекты). М., 1998. – 102 с.
7. ТИЩЕНКО В.А., ТОКАТЛЫ В.И., ЛУКЬЯНОВ В.И., РУБЦОВА Н.Б., ПОХОДЗЕЙ Л.В. Электромагнитное поле. В кн. Контроль физических факторов окружающей среды, опасных для человека. М., Издательство стандартов, 2003. С. 10–62.
8. ТРУБИЦЫН А.В. Электромагнитные поля и безопасность жизнедеятельности. М.: МИРЭА, 1996. – 66 с.
9. ХОЛОДОВ Ю.А. Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971. – 124 с.
10. ХОЛОДОВ Ю.А. Действие МП на функции нервной системы // Гигиеническая оценка магнитных полей. М., 1972. С. 52.
11. ШАНДАЛА М.Г., ЗУЕВ В.Г., УШАКОВ И.Б., ПОПОВ В.И. Справочник по электромагнитной безопасности работающих и населения. Воронеж: Истоки, 1998. – 82 с.
12. ГРИГОРЬЕВ Ю.Г., СТЕПАНОВ В.С., ГРИГОРЬЕВ О.А., МЕРКУЛОВ А.В. Электромагнитная безопасность человека. Справочно-информационное пособие. Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 1999. – 146 с.
13. ДАВЫДОВ Б.И., ТИХОНЧУК В.С., АНТИПОВ В.В. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 177 с.
14. ИСМАИЛОВ Э.Ш., ЗАХАРОВ С.Д. Электромагнитные поля и излучения в природе, технике и жизни человека. Махачкала: Дагучпедгиз, 1993. – 159 с.
15. ТРУБИЦЫН А.В. Электромагнитные поля и безопасность жизнедеятельности. М.: МИРЭА, 1996. – 66 с.
16. ХОЛОДОВ Ю.А. Человек в магнитной паутине (магнитное поле и жизнь). М.: Знание, 1972. – 144 с.
17. ТЯСТО М.И., ПТИЦЫНА Н.Г., КОПЫТЕНКО Ю.А. и др. Влияние электромагнитных полей естественного и антропогенного происхождения на частоту появления различных патологий в Санкт-Петербурге // Биофизика. М.: Наука, 1995. Том 40. №4. С. 839–847.
18. БОРОДИН А.С. Сопряженность вариаций КНЧ электромагнитных полей среды обитания и состояния организма человека. Автореферат на соиск. уч. ст. канд. тех. наук. Томск: ТГУ, 1999. – 14 с.
19. ВЕРНАДСКИЙ В.И. «Живое вещество и биосфера». Москва, «Наука», 1994.
20. АГУЛОВА Л.П. Принципы адаптации биологических систем к космогеофизическим факторам. // (обзор). Биофизика 1998, т. 43, вып. 4, С. 561–564.
21. МАКЕЕВ В.Б. и др. Физиологически активные инфранизкочастотные магнитные поля. // В сб. «Электромагнитные поля в биосфере». 1985, Т. II, С. 62–72.
22. РАГУЛЬСКАЯ М.В., ХАБАРОВА О.В. Влияние солнечных возмущений на человеческий организм. // Биомедицинская Радиоэлектроника № 2, 2001, С. 5–15.
23. О состоянии надзора за источниками физических факторов неионизирующей природы и деятельности профильных подразделений ЦГСЭН. Информационный сборник статистических и аналитических материалов. ФЦГСЭН, М., 2002 г.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Все живые организмы – животные, растения, бактерии – состоят из клеток. Активность организма как целого складывается из активности и взаимодействия отдельных клеток. Клетки необычайно консервативны – они способны функционировать лишь до тех пор, пока изменения ее параметров и параметров жидкости, омывающей ее плазматическую мембрану, не переходят известных границ. У живых организмов вырабатываются поразительно разнообразные механизмы для поддержания внутренней среды. У человека, так же как и у всех позвоночных, этой внутренней средой служит внеклеточная жидкость, омывающая все клетки тела. Около полутора веков назад Клод Бернар описал эту удивительную способность внеклеточной жидкости и отметил ряд механизмов, с помощью которых млекопитающие и птицы поддерживают ее постоянство. Некоторые механизмы регуляции внеклеточной среды имеются и у низших животных, но они не так эффективны как у млекопитающих. Уолтер Кэннон в начале XX века подробно исследовал ряд механизмов, поддерживающих постоянство внутренней среды. Эту активную стабилизацию внеклеточной среды, стремление организма обеспечивать ее постоянство, несмотря на изменения внешних условий, он назвал гомеостазом. В сущности, почти каждый орган играет какую-то роль в регулировании одного или нескольких параметров внеклеточной жидкости.

Изотермия свойственна только так называемым гомойотермным, или теплокровным животным. Изотермия отсутствует у пойкилотермных, или холоднокровных животных, температура тела которых переменна и мало отличается от температуры окружающей среды. Птицы и млекопитающие – единственные животные с постоянной температурой тела (гомойотермы). Только у них есть механизмы для поддержания постоянной температуры тела, независимо от колебаний температуры окружающей среды. Постоянная температура тела позволяет метаболическим процессам протекать с постоянной скоростью и дает возможность животным оставаться одинаково активными и в холодном и в жарком климате. По-видимому, именно это свойство обусловило тенденцию к увеличению размеров тела и росту относительной величины мозга у млекопитающих.

За это преимущество приходится платить. Диапазон условий, в которых млекопитающие могут жить и функционировать, необычайно узок. Практически все они погибают при температуре тела в 40 – 45°C. Для сравнения: обнаружены некоторые водоросли, живущие при температуре 65°C, бактерии переносят температуру 60°C довольно долго, а их споры могут переносить температуру выше 100°C. Со стороны низких температур, смертельным для теплокровных животных оказывается охлаждение до 20-24°C, в то время как низшие организмы выдерживают медленное охлаждение до отрицательных температур – рыбы и лягушки до –15°C и даже до –30°C. Бактерии остаются живыми при охлаждении до –150°C.

Одна из задач, которая стоит перед коммунальной гигиеной – определить такие климатические условия, в которых поддержание гомеостаза требовало бы минимальных усилий. Для того, чтобы понять, как решать эту задачу, необходимо хотя бы в общих чертах понимать физиологические механизмы поддержания гомеостаза. В насто-

ящей главе изложены представления, которые сложились у авторов как в процессе самообразования (чтение книг, обзоров), так и в силу давнего непрофессионального интереса к этой области. Последующее не претендует на сколько-нибудь серьезное изложение затрагиваемых вопросов, целью не было глубокое погружение в предмет, целью было движение в нужном направлении. Задачи были:

- а) Организовать массивы разнородного материала, набранного из разных мест, за несколько лет.
 - б) Получить представление о самой физиологии не только в аналитическом, но и в перспективном плане, пусть даже это будет носить предположительный характер.
 - в) Приобрести опыт концептуального мышления за пределами физики и техники.
- Две первые задачи решены, в общем, удовлетворительно. С третьей сложнее.

§ 1.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Теплоощущения и тепловое состояние: комфортные условия.

Современный человек в своей повседневной жизни одевается в соответствии со своими привычками и информацией о метеорологических условиях. При этом ему нет необходимости знать, каков механизм действия того или иного параметра среды; он опирается на свои ожидаемые ощущения. Жилища человека первоначально защищали его от ненастья (сильного ветра, дождя). По мере развития цивилизации человек освоил технологию обогрева своего жилища. И в этом случае он опирался на субъективные тепловые ощущения.

Роль теплоощущения в регуляции теплообмена организма со средой сводится в основном к изменениям поведения и включает выбор одежды, изменение площади свободного теплообмена со средой, более или менее произвольное изменение позы и т.п. Аfferентными стимулами для такого рода поведенческих реакций служат субъективные ощущения тепла и холода. Теплоощущения являются субъективной оценкой человека своего теплового состояния.

Под действием тепла и холода у человека изменяются кровоснабжение кожи и подкожной клетчатки, их температура, а также температура венозной крови, что является главной причиной появления ощущений теплового дискомфорта.

Важная роль в формировании теплоощущения человека принадлежит терморецепторам кожи и подкожных вен. При этом терморецепторы подкожных вен формирует общее ощущение холода и тепла, терморецепторы кожи – локальные.

Одной из первых задач, которые решались гигиенистами-климатологами, являлась задача установления связи между субъективными тепловыми ощущениями человека и его тепловым состоянием. Под тепловым состоянием человека физиологи понимают такое его функциональное состояние, которое характеризуется содержанием и распределением тепла в «ядре» (глубокие слои тела человека) и «оболочке» (поверхностные слои), а также степенью напряжения аппарата терморегуляции.

Тепловой комфорт означает термически нейтральное состояние, при котором механизмы терморегуляции не испытывают напряжения. В термонейтральной среде имеет место равенство теплоотдачи и минимальной теплопродукции, достигаемое за счет физической терморегуляции. Знание физиологической нормы, т.е. теплового состояния в условиях теплового комфорта, необходимо для правильной оценки сдвигов в системе терморегуляции под влиянием физических факторов окружающей среды.

Градации теплоощущения

До настоящего времени в качестве метода исследований при проверке теплового состояния людей применяют шкалы субъективного теплоощущения. Некоторые модификации этих критериев используются для расчета теплоощущения и определения показателей комфорта. Например, в своих исследованиях Bedford [1] классифицировал теплоощущения людей, участвующих в эксперименте, и давал им численную оценку следующим образом:

Очень жарко	1
Жарко	2
Приятно тепло	3
Комфорт	4
Приятно прохладно	5
Прохладно	6
Холодно	7

Впоследствии такой подход, когда теплоощущения исследуемых людей характеризуются определенными числами (см. работу [2]) стал общераспространенным. В настоящее время в ряде стран пользуются шкалой теплоощущения, разработанной П.О.Фангером и принятый ASHRAE. Соответствующий числовой показатель обозначается PMV (Predicted Mean Vote):

Холодно	– 3
Прохладно	– 2
Слегка прохладно	– 1
Комфорт	0
Слегка тепло.....	1
Тепло	2
Жарко	3

На раннем этапе исследований (см. [2]) усилия исследователей были направлены на поиски некоего всеобъемлющего показателя, который бы определялся параметрами микроклимата и наилучшим образом коррелировал с тепловыми ощущениями. Например, в качестве такого параметра до сих пор рассматривается так называемая эффективная температура, полученная на основе статистической обработки. Опытным путем было показано, что комфортные теплоощущения наблюдаются при эффективной температуре 17-21°С зимой и 19-24°С летом; при этом относительной влажности воздуха должна лежать в пределах 30-70%. Эти экспериментальные данные были использованы при разработке строительных и санитарных норм.

Предпринятые в недавнем прошлом попытки создать универсальную диаграмму для расчета теплоощущения, учитывающую все факторы теплового комфорта, оказались не только нереальными, но и нецелесообразными. Однако огромный объем экспериментальных данных, полученный на пути поиска универсальной диаграммы, не потерял актуальности до настоящего времени.

Показатели теплового состояния человека

Путем обобщения многочисленных исследований по отечественной и зарубежной литературе, а также на основе практики собственных исследований В.И.Кричагин [3] предложил оценку теплового состояния организма по объективно определяемым показателям.

В качестве показателей теплового состояния человека могут рассматриваться:

- состояние кожных покровов (побледнение, покраснение);
- состояние поверхностных вен на лбу и конечностях;
- температура тела, температура кожи;
- разность температур кожи туловища и конечностей;
- величина потоотделения,

а также общие физиологические показатели:

- функции дыхания (частота дыхания, легочная вентиляция);
- показатели гемодинамики (частота сердечных сокращений, артериальное давление, минутный объем кровотока, пульсовое давление и др.);
- водно-солевой обмен.

От того, как человек оценивает свое тепловое состояние, в значительной мере зависит его умственная и физическая работоспособность.

Наиболее тесная корреляционная связь теплоощущений с объективными показателями теплового состояния человека имеет место в случае пребывания его в относительном покое и при выполнении легких физических работ. Во время выполнения тяжелых работ, а также работ с выраженным нервно-эмоциональным напряжением связь теплоощущений с объективными показателями теплового состояния человека выражена в меньшей степени, что необходимо учитывать при нормировании и оценке микроклимата.

Ниже мы рассмотрим более подробно показатели теплового состояния и их характеристики для состояния покоя, физической активности, а также их изменения при воздействии неблагоприятных условий окружающей среды.

Температура тела и понятие средневзвешенной температуры кожи.

Под температурой тела человека физиологи понимают температуру внутренних органов и тканей (печени, мозга, желудка, легких, проксимального отдела прямой кишки), т.е. глубоких тканей организма [4]. В литературе часто эту температуру называют температурой «ядра».

Экспериментально установлено, что при нормальных условиях внешней среды температура тела (температура внутренних органов) колеблется в пределах (37,1 – 37,3°C). Кроме причин, связанных с тепловым балансом, существуют и другие физиологические факторы, в соответствии с которыми температура внутренних органов в 37°C наиболее предпочтительна: существующий температурный оптимум ферментов, особенности кривой диссоциации оксигемоглобина, критические величины теплоемкости воды и др. [5].

Тепло, вырабатываемое в организме в условиях равновесия, отдается в окружающее пространство поверхностью тела. В соответствии с физическими законами распространения тепловых потоков температура частей тела, располагающихся вблизи его поверхности, должна быть ниже температуры его центральной части.

Температура кожи человека, находящегося даже в состоянии теплового комфорта, значительно различаются на разных участках поверхности тела. Экспериментально установлено, что наилучшим образом представление о тепловом состоянии организма дает так называемая средневзвешенная температура кожи (СВТК, именно ее значения приведены в табл.1), рассчитываемая следующим образом:

$$СВТК = \frac{t_1 S_1 + t_2 S_2 + \dots + t_n S_n}{S}, \quad (1.1.1)$$

где n – число участков (точек) измерения температуры;

t_n – температура n -участка тела;

S_n – площадь n - участка поверхности тела с температурой равной t_n .

Существует более 15 систем измерения (выбор точек на поверхности тела). Связь между тепловыми ощущениями и значением СВТК, установленная в ходе многочисленных экспериментальных исследований, иллюстрирует таблица 1.1.1, которая опубликована в работе [3].

Приведенные данные получены путем опроса испытуемых, измерений температуры кожи и расчета СВТК при изменении температуры окружающего воздуха. Зависимость температуры кожи от термических условий среды, установленная корреляционная связь с теплоощущениями позволили считать СВТК одним из информационных показателей теплового состояния.

Таблица 1.1.1.

*Теплоощущения, средневзвешенная температура кожи и
влагопотери организма человека при относительном покое*

Теплоощущения	СВТК, °C	Потери влаги, г/ч
Очень жарко	$\geq 36,0$	500 – 2000 значительная часть пота стекает
Жарко	$36,0 \pm 0,6$	250 – 500 значительная часть пота стекает
Тепло	$34,9 \pm 0,7$	60 – 250 пот не стекает
Комфорт	$33,2 \pm 1,0$	50 ± 10 пот не выделяется
Прохладно	$31,1 \pm 1,0$	40 пот не выделяется
Холодно	$29,1 \pm 1,0$ ($27,9 \pm 1,5$)	влагопотери как показатель теплоощущений не характерны
Очень холодно	ниже 28,1 (26,4 и ниже)	

Потоотделение, потери влаги и водно-солевой обмен.

В таблице 1.1.1 приведены также потери влаги человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя. Из этой таблицы видно, что, начиная с некоторой температуры воздуха, теплоощущения человека (тепло, жарко и очень жарко) коррелируют, главным образом, с уровнем потери влаги путем потоотделения.

Организм человека на две трети состоит из воды и, казалось бы, может легко перенести потерю некоторой доли столь большого запаса. Однако в действительности избыток или дефицит воды, составляющий лишь 1% этого общего количества, уже вызывает заметные нарушения в организме. Реакция организма на эти изменения состоит в следующем: избыточное количество воды выводится через почки, а недостаток (вследствие возникновения ощущения жажды) по возможности компенсируется потреблением воды.

Вода, содержащаяся в теле, испаряется при любой температуре воздуха. Процесс испарения требует затраты энергии. Организм отдает энергию испаряющимся частицам и благодаря этому охлаждается. Этот процесс всегда протекает совершенно одинаково. Известно, что при испарении 1 см³ воды затрачивается около 0,58 ккал тепла. В условиях теплового комфорта и охлаждения человек, находящийся в состоянии относительного физического покоя, теряет влагу путем диффузии (неощутимая

перспирация) с поверхности кожи и верхних дыхательных путей. По приведенным в работах [2,3] данным путем испарения в окружающую среду отдается 23 – 27% общего тепла. При этом в норме 1/3 потерь приходится на испарение с поверхности верхних дыхательных путей и 2/3 с поверхности кожи.

На влагопотери путем диффузии оказывает влияние давление водяных паров в воздухе, окружающем человека. Поскольку в земных условиях изменения давления водяных паров невелики, величину влагопотерь вследствие испарения диффузной влаги принято считать относительно постоянной (30-50 г/ч). Несколько колеблется она лишь в зависимости от кровоснабжения кожи.

Функция потовых желез почти исключительно обуславливается необходимостью отдавать «излишки» продуцируемого или получаемого извне количества тепла. Для выполнения этой задачи они расходуют воду, содержащуюся в организме.

В состоянии покоя потоотделение начинается при температуре окружающего воздуха 28 – 29°C, а при температуре выше 34°C теплоотдача вследствие испарения и потоотделения является единственным способом теплоотдачи организма.

Значительные вариации величины потери влаги (см. табл. 1.1.1) путем потоотделения является иллюстрацией того, что этот показатель зависит не только от факторов среды, но и таких индивидуальных особенностей людей, как величина поверхности тела, состояния кожного покрова. Известно также, что выделение пота под влиянием эмоционального возбуждения обнаруживает большую индивидуальную изменчивость в отношении легкости, с которой оно может быть вызвано.

В среднем у человека величина потоотделения редко превышает 1500 г/ч. При оценке теплового состояния организма представляет интерес не только абсолютная величина потеря влаги организмом, но и доля теплоотдачи испарением в общей величине теплопотерь. При теплоотдаче испарением, достигающей 40% общих теплопотерь, уже отмечается напряжение механизмов терморегуляции, субъективно оцениваемых как «тепло» [4].

Высокая (в зависимости от влажности воздуха) охлаждающая способность испарения пота сохраняется до момента профузного потоотделения, когда избыток пота начинает стекать с поверхности тела, не испаряясь и не удаляя из организма соответствующего тепла [4].

При профузном потоотделении может быть потеряно 10-30 г хлоридов (при общем содержании их в теле около 165 г). В работе [5] приведены следующие результаты испытаний: в помещении с температурой 38°C и при относительной влажности 80% испытуемый потерял около 25 г хлорида натрия. Столь резкие сдвиги водного и электролитного баланса могут привести к ряду выраженных нарушений. (Какова же роль профузного потоотделения? в смачивании всей поверхности тела?).

Итак, нами выделены два основных показателя теплового состояния человека в покое, наиболее тесно коррелирующих с его тепловыми ощущениями.

Как отмечено выше, жизнедеятельность человека может нормально протекать лишь при условии сохранения температурного гомеостаза, который обеспечивается деятельностью таких систем организма как, сердечно-сосудистой, дыхательной, выделительной, эндокринной; энергетического, водно-солевого и белкового обменов. Остальные показатели теплового состояния человека представляют наибольший интерес для понимания процессов терморегуляции и адаптации. В связи с этим, авторы сочли целесообразным привести некоторые сведения о физиологии основных систем, участвующих в поддержании температурного гомеостаза.

§ 1.2. ТЕПЛОПРОДУКЦИЯ И РОЛЬ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА В ТЕПЛООБМЕНЕ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Метаболизм и его энергетические параметры

Одно из следствий второго закона термодинамики заключается в том, что теплота поступает только из областей с более высокой температурой в область с более низкой температурой. Поэтому «поток энергии» от живого организма к окружающей среде не может прекратиться до тех пор, пока температура первого выше температуры второй.

Температура глубоких частей тела регулируется таким образом, что она остается постоянной в чрезвычайно узких температурных границах. У человека эти границы составляют 36,4 и 37,5°C.

В расчетах энергетических процессов теплообмена человека важную роль играет так называемое метаболическое тепло, которое получило распространение и в технической литературе.

Метаболизм (обмен веществ) – это совокупность процессов, связанных с поглощением, превращением, хранением и выделением продуктов жизнедеятельности организма. Метаболическая тепловая энергия отнесенная к единице поверхности тела (М) определяется по количеству потребляемого кислорода и выражается следующей формулой [2]:

$$M = b * k * \frac{V_{O_2}}{S}, \quad (1.2.1)$$

где V_{O_2} – потребление кислорода, л/ч;

k – коэффициент, меняющийся от 0,83 (для отдыха) до 1 (для тяжелого физического труда);

$b = 5,8 \text{ Вт*ч/л}$ – энергетический эквивалент 1 л кислорода ;

S – площадь поверхности тела человека, м².

Ниже для энергетической характеристики метаболизма будет использоваться как удельная величина М, так и полная мощность метаболических процессов, которую мы (как это принято в термодинамике и инженерной теплофизике) будем обозначать через W. Очевидно, что $W = M*S$.

Мозг, сердце, дыхательная мускулатура, печень и почки постоянно находятся в активном состоянии. Интенсивность обмена веществ в организме в условиях умственного и физического покоя принято называть основным обменом. Средняя интенсивность основного обмена веществ у взрослого человека может быть принята равной 1800 Ккал/сут, что соответствует мощности $W_{00} = 88 \text{ Вт}$ (в некоторых работах приводятся значения до 116 Вт).

Функции системы дыхания

Основная функция системы дыхания состоит в обеспечении газообмена между организмом и окружающей средой. Через систему дыхания организм обеспечивается кислородом. Второй важнейшей функцией дыхательного тракта является согревание и увлажнение вдыхаемого воздуха.

Исключая кожу, система дыхания является единственным органом, прямо подвергающимся быстрым и значительным изменениям окружающих условий. Поступающий в легкие воздух должен иметь температуру, близкую к 37°C, для предохране-

ния дыхательного эпителия от термических повреждений. Кроме того, он должен быть насыщен водяными парами для обеспечения нормальной скорости газообмена. Коротко остановимся на некоторых аспектах физиологии дыхания [6].

В обычных условиях (при температуре воздуха 20-25°C и относительной влажности 30-50%) вдыхаемый воздух нагревается в полости носа до 31,7°C, в носоглотке – до 32-33°C, в трахее – до 35-36°C и практически становится насыщенным водяными парами при этой температуре.

Самые дистальные воздухоносные пути, такие как респираторные бронхиолы и альвеолярные ходы, имеют кровоснабжение от легочных, а не бронхиальных сосудов и располагают, таким образом, независимым источником тепла для предохранения их стенок от охлаждения.

Слизистая дыхательных путей охлаждается во время вдоха как за счет контакта с более холодным воздухом, так и за счет испарения. При выдохе альвеолярный воздух с температурой 37°C и относительной влажностью 100 % контактирует с охлажденной при вдохе поверхностью дыхательных путей. Турбулентная конвекция вновь устанавливает температурное равновесие между слизистой и выдыхаемым воздухом; выдыхаемый воздух охлаждается, его способность удерживать водяные пары снижается, и происходит их конденсация. Таким образом, слизистая оболочка во время выдоха возвращает не только тепло турбулентной конвекции, но также воды и латентное тепло испарения. Слизистая оболочка согревается и увлажняется для нового вдоха. Двойственная способность дыхательного тракта – кондиционировать воздух при вдохе и сохранять часть тепла и влаги при выдохе – базируется на физических принципах тепло-и влагообмена.

От температуры и влажности воздуха, вдыхаемого из внешней среды, зависит количество тепла и влаги, сохраняемое дыхательным трактом при выдохе. В обычных условиях (25°C, 50% относительной влажности) охлаждение слизистой оболочки, вызванное кондиционированием вдыхаемого воздуха, понижает температуру альвеолярного воздуха на его пути наружу до 32°C, что позволяет организму вернуть 20 – 25% тепла и влаги, израсходованных при вдохе. В этих условиях организм взрослого мужчины теряет с дыханием около 250 мл влаги и 350 ккал тепла в сутки.

Феррус и соавторы [20] проанализировали влияние дыхательного объема (VT), частоты дыхания (f), температуры (TI) и плотности вдыхаемого газа и парциального давления в нем водяных паров (PI) на влагопотери с дыханием у человека с целью выяснить значение каждого из этих параметров. Авторами была рассчитана множественная линейная регрессионная зависимость, которая имеет следующий вид:

$$M_E=a_0+a_1f+a_2V_T+a_3T_I+a_4\rho_I+a_5P_I, \tag{1.2.2}$$

где ME – масса воды, теряемая с каждым литром выдыхаемого воздуха, мг/дм³.

В таблице 1.2.1 приведены коэффициенты регрессии для переменных и их статическая значимость.

Таблица 1.2.1

Факторы, определяющие потери тепла путем испарения со слизистой дыхательного тракта

Переменная	Коэффициенты регрессии
ME, мг/дм³	a0=28,70 ±1,17

f, мин ⁻¹	a1=-0,27±0,05
VT, дм³	a2=0,07±0,046
TI, °C	a3=0,22±0,01
ρI, г/дм³	a4=-0,06±0,007
PI, мм рт.ст.	a5=0,14±0,3

Влияние частоты дыхания на содержание влаги в выдыхаемом воздухе связано с тем, что испарение воды в верхних дыхательных путях и, возможно, в трахеобронхиальном дереве – не мгновенный процесс. В случае задержки дыхания в конце вдоха на 5 с наблюдалось существенное увеличение влажности выдыхаемого воздуха. Влажность выдыхаемого воздуха может изменяться и при перестройках временных параметров дыхательного цикла, в частности при увеличении продолжительности экспираторной фазы. Величина дыхательного объема положительно коррелирует с количеством воды, выделяемой за отдельный цикл, но не связана явно с концентрацией ее в выдыхаемом воздухе. Значительное увеличение влагопотерь с дыханием происходит при повышении температуры вдыхаемого воздуха, что, очевидно, обусловлено повышением температуры эспиранта. В более ранних исследованиях было показано, что температура вдыхаемого (TE) и выдыхаемого воздуха (TI) связаны линейным уравнением $T_E = a + bT_I$.

Величины коэффициентов а и b зависят от внешних условий и паттерна дыхания, но b всегда меньше, чем 0,5*а. Это означает, что прирост TE всегда меньше, чем половина повышения TI.

Коэффициент а5 показывает, что содержание воды в выдыхаемом воздухе является прямой функцией влажности вдыхаемого воздуха. Для насыщения водяными парами влажного газа требуется меньшее испарение со стенок слизистой оболочки дыхательных путей, что в свою очередь приводит к меньшему ее охлаждению и меньшим потерям тепла с дыханием.

Приведенные выше сведения о физиологии дыхания позволяют понять, каким образом температура и влажность вдыхаемого воздуха оказывает воздействие на организм человека.

Конвективная теплоотдача с дыханием существенно зависит от температуры выдыхаемого воздуха. Температура выдыхаемого воздуха в принципе определяется теми же самыми внутренними и внешними факторами, что и его влажность.

Очевидно, что тепло- и влагопотери с дыханием регулируются и притоком крови к слизистой оболочке дыхательных путей, который находится под температурным контролем. При переходе от дыхания влажным теплым воздухом к дыханию сухим и холодным трахеальный и бронхиальный кровоток возрастают в 1,6 раза, а легочный кровоток остается неизменным.

В состоянии относительного покоя человека и при комфортных условиях его частота дыхания примерно равна 12 – 15 вд/мин. Дыхательный объем в среднем составляет 0,5 л/вд. Таким образом, минутный объем дыхания в покое и при комфортных условиях равен примерно 6-7,5 л/мин. В дыхательном тракте при этом тратится примерно 2-5% общего потребления кислорода.

Функции сердечно-сосудистой системы; показатели гемодинамики

Тепло, образующееся в каждой ткани организма, должно быть транспортировано к поверхности тела, где оно может быть отдано. Оно распространяется до поверхности тела частично путем проведения, частично переносится кровью, которая охлаждается у поверхности тела. Каждый литр крови, охлаждаясь на 3°C, переносит от внутренних органов примерно 2,5 ккал тепла. Тепло, полученное от солнца и воздуха, не переносится кровью, так как оно обычно рассеивается получившей ее поверхностью. Кровеносная система всегда принимает участие в отдаче избытка тепла, и это является одной из ее наиболее важных функций.

Экспериментальное определение общего кожного кровотока представляет значительные трудности. В связи с этим различные авторы используют косвенные методы определения. Например, в книге [5] приводятся следующие данные – в среднем у обнаженного человека при температуре воздуха 28°C кожный кровоток составляет (0,12-0,29) л/мин на 1м² покровной поверхности. При нейтральной температуре окружающей среды количество циркулирующей под кожей крови составляет всего 8 – 9 % общего ее количества. В зависимости от температуры воздуха кровоснабжение кожи может меняться на два порядка.

Другой важнейшей функцией системы кровообращения является транспортировка кислорода. Человек, находящийся в состоянии покоя в комфортных условиях, потребляет в среднем 0,25 л/мин кислорода, что необходимо ему для нормального протекания процессов основного обмена веществ.

Поглощение кислорода зависит от способности сердечно-сосудистой системы переносить кислород: система сосудов служит трубопроводом, а сердце является мощным насосом, обеспечивающим перенос и обмен веществ.

Для здорового человека частота сердечных сокращений равна примерно 70 уд/мин. Принимая ударный объем сердца в покое равным 70-80 мл, получим, что минутный объем кровообращения в среднем составляет 4.9-5,6 л.

В покое микроциркуляторные сосуды скелетной мышцы сокращены, т.е. благодаря симпатической стимуляции оказывают току крови большое сопротивление. В покое разница содержания кислорода в артериальной и смешанной венозной крови ($V_a - V_v$) невелика (из 100 мл крови поглощается 5 мл кислорода). Благодаря высокому тонусу микроциркуляторных сосудов скелетные мышцы получают только 15-20% общего сердечного выброса (1 л/мин).

Таким образом, в состоянии покоя теплоощущению, которое человек воспринимает как комфортное, соответствуют следующие показатели:

- температура «ядра» колеблется в пределах (37,1 – 37,3)°C;
- средневзвешенная температура кожи равна 33,2±1,0°C;
- величина влопотерь вследствие испарения диффузной влаги составляет (30 - 50) г/ч. Путем испарения в окружающую среду отдается 23 – 27% общего тепла. При этом в норме 1/3 потерь приходится на испарение с поверхности верхних дыхательных путей и 2/3 с поверхности кожи;
- частота сердечных сокращений равна примерно 70 уд/мин. Если считать, что ударный объем сердца в покое равен 70-80 мл, получим, что минутный объем кровообращения в среднем составляет 4.9-5,6 л.;
- частота дыхания примерно равна 12 -15 вд/мин. Дыхательный объем в среднем составляет 0,5 л/вд; минутный объем дыхания равен примерно 6-7,5 л/мин. В дыхательном тракте при этом тратится примерно 2-5% общего потребления кислорода.

§ 1.3. МЫШЕЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ИЗМЕНЕНИЯ СИСТЕМНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВООБРАЩЕНИЯ

Энергетические параметры физической деятельности человека

Потребность энергии для различных физических нагрузок на практике определяют по потреблению кислорода, вычитая из общего количества величину потребления кислорода в состоянии покоя. Согласно общераспространенной классификации, различают три основные категории видов трудовой деятельности по их интенсивности (см. подробнее гл. 3):

- легким трудом называется такая деятельность, при которой полное потребление кислорода не более чем в 2 раза превышает его потребление в состоянии покоя;
- для труда средней степени тяжести потребление кислорода в 2-4 раза превышает его потребление в состоянии покоя;
- при тяжелом труде полное потребление кислорода в 4-8 раз превышает его потребление в состоянии покоя.

В российских нормативных документах (см. напр.[18]) принята следующая классификация тяжести труда на основе общих энергозатрат организма ($W_{пол}$):

- | | |
|-------------------------------------|----------------|
| - легкая физическая работа | |
| категория Ia | до 139 Вт |
| категория Ib | (140 – 174) Вт |
| - средней тяжести физическая работа | |
| категория IIa | (175 – 232) Вт |
| категория IIb | (233 – 290) Вт |
| - тяжелая физическая работа | |
| категория III | более 290 Вт |

Энергетический коэффициент полезного действия обмена веществ человека (η), составляет 20% . Процесс обмена веществ протекает при постоянной температуре 36,5-37,5°C.

Учитывая энергетический коэффициент полезного действия обмена веществ человека, можно определить собственно энергозатраты на сокращение мышц ($W_{см}$) и так называемый тепловой эквивалент механической работы ($W_{терм}$) соответственно формулам:

$$W_{см} = \eta * (W_{пол} - W_{оо}), \quad (1.3.1)$$

$$W_{терм} = W_{пол} * (1 - \eta) + \eta * W_{оо} \quad (1.3.2)$$

Состояние организма при работе. Изменения функционирования различных систем организма при мышечной деятельности

Мышечная деятельность является универсальной и важной функцией организма человека. Развитие и совершенствование двигательной деятельности человека есть одновременно и совершенствование таких жизненно важных систем, как дыхание, кровообращение, теплорегуляция, а также процессов обмена веществ и связанных с ними ферментативных систем. Не обладая сколько-нибудь существенными запасами кислорода, организм человека должен бы уже при умеренных мышечных нагрузках попадать в условия расхождения между потребностями тканей

в кислороде и возможностями его доставки. В комплексе приспособительных реакций транспортных систем внешнее дыхание является первым звеном в процессе доставки кислорода работающим мышцам и последним – в процессе удаления углекислого газа.

Приводимые ниже данные опубликованы в работе [7].
Различается (см. напр. [8]) анаэробная производительность – количество энергии, освобождаемой в мышцах за счет гликолиза, без участия кислорода, (мерой интенсивности этого процесса является величина кислородного долга) и аэробная производительность – количество энергии, освобождаемой в мышцах за счет окислительного метаболизма с использованием кислорода. Определяется по максимальному потреблению кислорода.

Минимальный суточный расход энергии на работу скелетных мышц у взрослого человека должен составлять не менее 1300 Ккал. Нетренированные мышцы менее эффективно утилизируют кислород из крови, что даже при нетяжелой работе сопровождается значительным повышением деятельности кардио-респираторной системы.

Работа мышц осуществляется за счет энергии, освобождающейся при расщеплении АТФ. Для определения потребления АТФ измеряют поглощение кислорода. Запасы макроэргов в организме невелики, за их счет работа может совершаться в течение (5-6) с.

При продолжении работы АТФ восстанавливаются путем анаэробного и аэробного метаболизма, при этом, чем продолжительнее работа, тем большее значение приобретают аэробные реакции.

Удельное значение анаэробных механизмов в общем расходе энергии при мышечной деятельности оценивается по избыточному (сверх уровня покоя) потреблению кислорода после прекращения работы. Эта величина называется кислородным долгом. Его погашение обеспечивает восстановление запасов макроэргов, израсходованных при работе (алактатная фракция кислородного долга), и окисление продуктов обмена, главным образом молочной кислоты, концентрация которых нарастает в мышцах и в крови при физических нагрузках (лактатная фракция кислородного долга). При максимальной работе у тренированных лиц уровень кислородного долга может достигать 20-22 л. Для людей, ведущих сидячий образ жизни, максимальная величина кислородного долга не превышает 10 л.

В начале работы происходит постепенная интенсификация деятельности кислород-транспортной системы. Этот период работы называется периодом вработывания. После его окончания наступает устойчивое состояние. Вегетативные функции при этом поддерживаются на относительно стабильном уровне, зависящем от мощности выполняемой работы. В ее процессе развивается состояние утомления, причины которого различны при разных видах мышечной деятельности. Продолжительная работа, при которой кислородный запрос почти полностью удовлетворяется, менее утомительна, чем работа с преобладанием анаэробных процессов. Но и при длительной работе возникает ряд изменений во внутренней среде организма, снижающих его работоспособность: изменения температуры тела, концентрации в крови электролитов, глюкозы. После окончания работы происходит постепенное восстановление деятельности всех систем организма, энергетических ресурсов и работоспособности, носящее фазовый характер. Длительность восстановления зависит от тяжести работы и степени адаптации к ней организма.

Мощность нагрузок оценивается либо величиной скорости выполнения внешней работы, либо интенсивностью физиологических процессов – по потреблению кислорода. При легкой и средней по тяжести работе между ее мощностью и потреблением кислорода существует линейная связь. При достижении так называемой критической мощности потребление кислорода стабилизируется, хотя мощность работы может еще несколько увеличиваться. Количество кислорода, потребляемого в единицу времени при такой работе, называется максимальным потреблением кислорода. У молодых нетренированных лиц оно составляет в среднем 40-50 мл*кг-1 в 1 мин, у тренированных спортсменов – 70-80 мл*кг-1 в 1 мин. Мощность работы, при которой потребление кислорода достигает максимума и поддерживается на этом уровне в течение нескольких минут, характеризуется как максимальная (табл.1.3.1). К субмаксимальной относят работу с потреблением кислорода 70-90% от индивидуального максимума. При работе средней тяжести и легкой потребление кислорода составляет соответственно 30-60 % и 20-30 % от максимального уровня.

Таблица 1.3.1.

Изменения некоторых физиологических показателей при выполнении работы разной мощности

Характер работы	Мощность работы, Вт	ЧСС, уд./мин	Минутный объем крови, л/мин	Минутный объем дыхания, л/мин	Потребление кислорода, л/мин	Лактаты крови, мг в 100 мл
Для людей, не занимающихся спортом						
Легкая	Менее 50	120-140	10-12	30-50	1,0-1,5	20-30
Средняя	50-100	140-160	12-15	50-90	1,5-2,0	30-40
Субмаксимальн	100-150	160-170	15-20	90-100	2,0-2,5	40-60
Максимальная	150-250	170-190	20-25	100-110	2,5-3,0	60-100
Для тренированных спортсменов						
Легкая	100-150	90-120	8-10	20-40	0,8-1,0	10-20
Средняя	150-200	120-140	10-15	40-90	1,0-2,5	20-50
Субмаксимальн	200-350	140-180	15-30	90-110	2,5-4,5	50-150
Максимальная	350-500 и более	180-210	30-40	110-170	4,5-6,5	150-300

Частота сокращений сердца (ЧСС) при мышечной деятельности зависит от ее мощности и физической подготовленности организма. При частоте пульса в диапазоне 140-170 уд./мин наблюдается линейная связь этого показателя с потреблением кислорода, а следовательно, и с мощностью работы. При большей и меньшей частоте сокращений сердца линейность отсутствует. Максимальное потребление кислорода у молодых здоровых людей достигается при ЧСС =(170-180) уд./мин. Учащение пульса при физических нагрузках сопровождается укорочением сердечных циклов и уменьшением их вариативности. Коэффициент вариативности длительности сердечных циклов снижается при ЧСС =(170-180)уд./мин у тренированных лиц в 3-4 раза по сравнению с величиной покоя, а у не тренирующихся вариативность сердечных циклов исчезает.

Минутный объем дыхания (легочная вентиляция) увеличивается с ростом мощности работы и потребления кислорода. Но когда потребление кислорода приближается к максимальному уровню и достигает его, минутный объем дыхания возрастает очень резко, и линейная зависимость между этими показателями нарушается.

Во время выполнения субмаксимальной и максимальной работы у человека уменьшается объем циркулирующей крови (на 200-300 мл), что является результатом выхода части плазмы в тканевые пространства работающих мышц. Это приводит к увеличению концентрации эритроцитов, гемоглобина и в значительно большей степени – лейкоцитов, что связано, в основном, с выходом депонированной крови из костного мозга, селезенки, печени. При этом продолжительность работы играет более значительную роль, чем ее мощность. В плазме крови увеличивается концентрация молочной кислоты и других недоокисленных продуктов, что ведет к значительному снижению pH (кислотности). Мощность работы, при которой в крови начинают нарастать продукты анаэробного обмена, определяется как порог анаэробного обмена. У не занимающихся спортом людей анаэробный порог обмена наблюдается при потреблении кислорода 30-40% от максимального уровня и частоте сокращения сердца 130-140 уд./мин, иными словами только при выполнении легкой работы в крови не происходит существенных изменений по сравнению с состоянием покоя.

Температура тела и кожи при физических нагрузках

Еще в начале XX века (по сведениям, приведенным в [2]) датский физиолог М. Нильсен, обратил внимание на то, что температура ядра тела при стандартной работе в разных условиях поддерживается на одном и том же повышенном уровне. По результатам опытов, проведенных на самом себе, М. Нильсен обнаружил, что при работе на велоэргометре в течение часа при температуре 5 и 23°C температура ядра тела была всегда в среднем на 0,75°C выше, чем исходная (в покое) состоянии. В других экспериментах М. Нильсен варьировал мощность работы при постоянных условиях теплоотдачи (температура воздуха 22-23°C, влажность 35-59%, постоянно сильное движение воздуха). В этих опытах температура тела была тем больше, чем интенсивнее была нагрузка, хотя физические условия для теплоотдачи оставались неизменными. Эти данные М. Нильсена были позже полностью подтверждены многими исследователями. Свое заключение М. Нильсен сформулировал следующим образом: повышение температуры тела при мышечной активности является физиологически регулируемым и не является следствием функциональной недостаточности терморегуляторного аппарата.

В чем заключается польза для организма от повышения температуры тела при мышечной работе сверх уровня покоя, который поддерживается в норме с такой строгостью? На этот вопрос еще нельзя ответить с полной определенностью, но могут иметь значение следующие соображения [5]:

- при повышении температуры ядра тела на 1°C частота сердечного сокращения увеличивается на 20%;
- в скелетных мышцах повышение температуры приводит к ускорению метаболических процессов, как в фазе сокращения, так и расслабления, т.е. релаксации; одновременно уменьшается вязкость мышц, что приводит к сокращению латентного периода возбуждения, а кривая сокращения становится короче и круче;
- в гладких мышцах повышение температуры приводит к снижению тонуса;
- возбудимость и проводимость нерва также растут;

- повышение температуры крови приводит к сдвигу кривой диссоциации гемоглобина в сторону облегчения высвобождения кислорода в тканях;
- повышение температуры способствует ускорению динамики всех вообще реакций, лежащих в основе метаболизма.

"Рост температуры очень важен для скорости ферментативных реакций. Способность разрушать одни связи и создавать другие может быть свойственна не в равной степени всем молекулам данного субстрата или фермента, а лишь тем, энергия которых достигает или превышает энергетический параметр данной реакции. Даже небольшое изменение кинетической энергии всех молекул (а именно это и определяет изменение их температуры) сопровождается относительно большим увеличением доли молекул с кинетической энергией, превышающей энергию активации данной метаболической реакции».

Повышение температуры ядра тела является необходимым условием не для начала работы, а для продолжения ее выполнения в течение более или менее длительного времени. Возможно поэтому, главное адаптивное значение этой реакции состоит в возобновлении работоспособности (усилении анаболических процессов) еще в ходе самой мышечной деятельности.

Температура кожных покровов в отличие от температуры глубоких слоев тела (его ядра) находится в зависимости не от интенсивности работы, а от условий теплообмена с окружающей средой. До тех пор пока термостабильное состояние организма не нарушено, температура кожи, а значит и сосудистые реакции в ней, регулируются при работе так, как в покое. Значения температуры ядра и тела человека при работе приведены в табл. 1.3.2.

*Таблица 1.3.2.
Температура ядра и тела человека при выполнении работы
(по данным [2])*

Энерго- затраты, Вт	Температура ядра, °C		СВТК, °C	
	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.
201	37,1	37,9	31,5	35,9
281	37,4	37,9	31,0	35,0
377	37,7	38,0	30,0	34,0

Приведенные в таблице 1.3.2 данные свидетельствуют о разном характере изменений температуры тела и кожи в зависимости от тяжести выполняемой работы. Температура тела растет вместе с увеличением энергозатрат и в этих условиях мало зависит от теплообмена со средой, тогда как средневзвешенная температура кожи изменяется в обратном отношении: при более тяжелой работе она снижается из-за усиленного потоотделения и как результат этого уменьшается теплоотдача конвекцией и радиацией. Иными словами, температура кожных покровов находится в зависимости не от интенсивности работы, а от условий теплообмена с окружающей средой. Поскольку эффективность испарения пота, с точки зрения охлаждающего кожу воздействия, не

может рассматриваться без учета типа одежды (ее теплоизоляционных свойств), а также влажности и скорости движения воздуха, то становится понятным существенный разброс в значениях СВТК, приведенных в таблице 1.3.2.

Таблица 1.3.3.

Связь температура кожи человека, выполняющего работу
разной интенсивности, с его ощущениями тепла

Характер работы	Расход энергии, Вт	СВТК по данным работы [2], («комфорт»)°C	СВТКпо данным работы [4],°C		
			«комфорт»	«прохладно»	«холодно»
Легкая категория Ia	до 139	33,6	33,3	30,8	27,9
категория Ib	140-174	33,1	32,6	30,1	27,3
Средняя категория Pa	175-232	32,2	31,5	29,0	26,4
категория Pb	233-290	31,3	30,3	27,9	25,4
Тяжелая категория Ph	≥290				

По результатам многочисленных серий опытов на основе регрессивного анализа Фангер получил количественное соотношение между видом деятельности и температурой кожи [2]. В работе [4] приведены уравнения, отражающие взаимосвязь СВТК и уровня энергозатрат человека при различных его теплоощущениях. Численные оценки значений СВТК, сделанные нами с использованием этих соотношений, приведены в табл.1.3.3.

Краткий обзор изменений «показателей теплового состояния» человека, выполняющего физическую работу различной интенсивности, показывает, что субъективные ощущения тепла зависят не только от физических факторов микроклимата, но и от характера деятельности человека, его адаптации к физическим нагрузкам.

Сердечно-сосудистая система при физических нагрузках

Поглощение кислорода зависит от способности сердечно-сосудистой системы переносить кислород к работающей мышце, способности дыхательной системы поставлять в кровь кислород и удалять из крови углекислый газ, способности скелетной мышцы поглощать кислород и использовать его для аэробного синтеза АТФ.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что для каждого человека существует предел рабочей нагрузки, т.е. максимальный уровень физической нагрузки, при котором дальнейшее увеличение потребности в кислороде не вызывает увеличения поглощения кислорода. Переносимый уровень физической нагрузки определяется значением максимального уровня поглощения кислорода. Взаимосвязь между поглощением кислорода (л/мин) и возрастающей интенсивностью работы для мужчины среднего возраста приведена в таблице 1.3.4 [9].

Таблица 1.3.4.

Связь между поглощением кислорода интенсивностью работы

Интенсивность работы, Вт	0	50	100	150	200	250	300
Поглощение кислорода, л/мин	0,25	0,8	1,4	2,0	2,6	3,2	3,2

Максимальный уровень поглощения кислорода часто считают лучшим показателем степени тренированности сердечно-сосудистой и дыхательной систем. При регулярных физических нагрузках он может увеличиваться, а с возрастом – уменьшаться.

Повышение потребности в кислороде при физических нагрузках вызывает в сердечно-сосудистой системе изменения двух типов:

- должен увеличиться сердечный выброс. Это увеличение достигается посредством повышения частоты сердечных сокращений (ЧСС) и ударного объема;
- должно произойти перераспределение кровотока от относительно неактивных органов к работающей мышце, и вместе с тем должен поддерживаться достаточный уровень кровотока и артериального давления в жизненно важных органах, таких как мозг.

Увеличение ЧСС и ударного объема обеспечивается быстрым повышением активности симпатической нервной системы. К другим факторам регуляции функции ССС относятся венозный возврат и объем циркулирующей крови, которые зависят от массы тела, тренированности и температуры окружающей среды. У тренированных людей максимальный сердечный выброс превышает 34л/мин. В таблице 1.3.5 приведены значения показателей гемодинамики в зависимости от интенсивности работ.

Таблица 1.3.5.

Показатели гемодинамики при различных интенсивностях работ

Интенсивность работы,Вт	Частота сердечных сокращений, уд/мин	Ударный объем, мл/уд	Сердечный выброс, л/мин	Поглощение кислорода, мл/мин	Систолическое Давление, мм рт. ст.
0	70	70	4,9	250	125
50	100	95	9,5	1000	150
100	130	105	13,7	1600	160
150	155	110	17	2250	170
200	170	112	19	2500	180

Предельной частотой сердечных сокращений считается 220 уд/мин. Если ЧСС превышает 220 уд/мин то уменьшается время наполнения и ударный объем, а, следовательно, сердечный выброс уменьшаются. Максимальное значение ЧСС для человека, выполняющего тяжелую физическую работу, можно рассчитать по формуле (220 – возраст).

В состоянии покоя благодаря высокому тону сосудов микроциркуляции скелетные мышцы получают только 15-20% общего сердечного выброса. При средней величине сердечного выброса 5 л/мин кровотока во всех скелетных мышцах составляет меньше 1 л/мин.

Во время физической нагрузки сердечный выброс может превышать 20 л/мин; сосуды скелетных мышц расширены и на мышцы может приходиться до 80-85% общего кровотока. Таким образом, в минуту к скелетным мышцам может доставляться более 16 л крови.

При физической нагрузке систолическое давление возрастает пропорционально увеличению минутного системного кровотока. Диастолическое давление (это показа-

тель общего периферического сосудистого сопротивления) во время физической работы либо не изменяется, либо уменьшается.

Система дыхания при физических нагрузках

В рамках настоящего обзора невозможно привести всеобъемлющий анализ исследований сложных механизмов управления и регулирования процессов дыхания в различных условиях. Интерес представляют так называемые интегральные характеристики реакций, которые могут быть описаны физическими параметрами. Одним из таких параметров является скорость воздухообмена, его зависимость от интенсивности труда. По данным, изложенным в работе [6] можно построить график (рис. 1.3.1) зависимости интенсивности легочной вентиляции от интенсивности работы.

Приведенный график построен по экспериментальным данным, которые получил Wasserman в период 1978-1986г.г. Автором отмечен следующий факт. При возрастающей мышечной нагрузке динамика легочной вентиляции имеет свои особенности. При повышении работы в диапазоне низких мощностей имеется линейная зависимость между показателями газообмена и вентиляторной реакции. Начиная с нагрузки, равной порогу анаэробного обмена, прирост легочной вентиляции и выделения углекислого газа становится резче по сравнению с потреблением кислорода, который продолжает сохранять свою линейную зависимость от величины продуцируемого при работе тепла.

В различных случаях повышенная легочная вентиляция поддерживается за счет неодинакового соотношения частоты и глубины дыхания, что обусловлено, очевидно, тенденцией к энергетической оптимизации дыхательного цикла.

Установлено, например, что при тяжелой нагрузке учащение дыхательных циклов резко преобладает над увеличением дыхательного объема [6]. Иными словами, избирается такое соотношение между глубиной дыхания и длительностью инспираторной и экспираторной фаз, при которой требуемый уровень альвеолярной вентиляции достигается наиболее экономичным (с точки зрения работы, выполняемой дыхательной мускулатурой) путем. Известно, что работа дыхания может ограничить величину предельной физической нагрузки, ибо при очень высокой легочной вентиляции дыхательные мышцы начинают «съедать» весь дополнительно поглощенный кислород.

Интенсивность легочной вентиляции в зависимости от тяжести работы

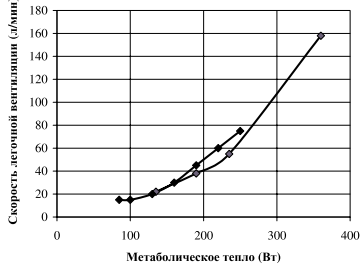


Рисунок 1.3.1

По мнению автора работы [9] функциональная емкость системы дыхания велика. Лишь у спортсменов и тренированных людей, выполняющих продолжительную тяжелую работу, например, бегущих марафон, дыхание может ограничить нагрузку. При таких уровнях нагрузки лимитирующим фактором становится конкуренция дыхательных и скелетных мышц за приток крови и за кислород.

Дыхательные реакции на работу зависят от многих переменных, но при нормальных климатических условиях важнейшими являются интенсивность и тип мышечной деятельности.

В работе [9] несколько иначе интерпретируется характер зависимости минутного объема дыхания от интенсивности рабочей нагрузки: пока уровень поглощения кислорода не превышает 50-75% максимально возможного уровня, рассматриваемая зависимость имеет линейный участок; когда потребление кислорода превышает 75% максимально возможного, минутный объем дыхания возрастает экспоненциально.

Для эффективного обмена кислорода в системе кровообращения требуется, чтобы легочный кровоток соответствовал вентиляции. Реакция системы дыхания на увеличение интенсивности нагрузки приведена в таблице 1.3.6.

Таблица 1.3.6.
Изменения показателей дыхания при возрастающей нагрузке

Интенсивность нагрузки, Вт	Частота дыхательных движений, вдох/мин	Дыхательный объем, л/вдох	Минутный объем дыхания, л/мин
0	12	0,7	8,0
50	15	2,0	30
100	20	2,5	50
150	28	2,8	80
200	40	3,0	135

Потери влаги при физической работе

Ряд исследователей, как отмечено в работе [5] показали, что при одной и той же температуре ядра тела потоотделение при работе наступает при более низкой температуре кожи и гораздо интенсивнее, чем в покое. Возможное объяснение этому факту состоит в том, что при работе объем ядра тела как бы увеличивается за счет работающих мышц. Терморецепторы в стенках вен, отводящих кровь из работающих мышц, дополнительно к другим рефлекторным зонам могут доставлять в терморегуляторные центры сигналы, усиливающие секрецию пота. Другое объяснение состоит в том, что при работе повышается сама чувствительность центров потоотделения к термическим импульсам с периферии. Наконец, при мышечной работе активация симпатической нервной системы непосредственно влияет на иннервируемые ею потовые железы, усиливая их секрецию. Известную роль в регуляции потоотделения при работе играет и локальное повышение температуры кожи над работающими мышцами.

М. Нильсен установил, что при обдуве тела холодным воздухом температура кожи могла опускаться до 25°C, и при этом потоотделение оставалось таким же, как в покое при 35°C. Эти данные противоречили существующей ранее гипотезе, что интенсивность потоотделения почти полностью определяется уровнем температуры кожи, и указывали на то, что при работе порог «потоотделительной» реакции резко снижается. Уровни потоотделения у человека в покое и при работе приведены в таблице 1.3.7.

Таблица 1.3.7.

Уровень потоотделения у человека в покое и при работе

Функциональное состояние	СВТК, °С	Температура внутренних слоев кожи, °С	Выделение пота, г/ч
Покой (тепло)	35	35	200
Работа:			
125Вт	30	32	200
150Вт	25	27	200
Покой (жарко)	36	36	400
Работа:			
125Вт	33	34	400
150Вт	30	32,5	400

К приведенным в таблице данным, очевидно, следует относиться с некоторой осторожностью, поскольку не указано при каких условиях проводились эксперименты. К сожалению, данное обстоятельство имеет место в большинстве рассмотренных нами источников, которые сами по себе уже являются обзором литературы. Не имея возможности (в ряде случаев) обратиться к первоисточникам, мы и в дальнейшем будем отмечать наличие или отсутствие сведений об условиях экспериментов.

Мощность потоотделительного аппарата чрезвычайно велика. Как установлено, максимальная скорость секреции пота достигает 3,5 л/ч. Если бы все это количество испарялось с поверхности тела, оно могло бы обеспечить теплоотдачу в 1800 ккал/ч. Но это на много превышает возможности человеческого организма. Обычно же интенсивность потоотделения при тяжелой работе не превышает 1-1,5 л/ч, но только при условии неограниченной компенсации влагопотерь. Если же возможность удовлетворения жажды ограничена, то уже после потери 3-4 л пота возникает дегидратация организма со всеми вытекающими отсюда тяжелыми последствиями и интенсивность потоотделения резко снижается.

Обобщение данных об изменениях системных показателей при мышечной деятельности

Любой вид физической активности изменяет внутреннюю среду на многих уровнях и оказывает большое влияние на гомеостаз: потребление глюкозы возрастает до 20 раз; рН в скелетных мышцах значительно снижается; с потом выделяется до 2-3 л воды; температура тела может возрасти (теоретически) до 41 °С (при чрезмерных нагрузках). Чтобы клетки организма не погибли, эти отклонения должны быть компенсированы.

В поддержании гомеостаза во время физической нагрузки участвует множество систем, но жизненно важными являются три:

- регуляция артериального давления и объема крови;
- регуляция концентрации глюкозы в крови;
- регуляция температуры.

В работе [9], посвященной со всей очевидностью анализу физиологических возможностей спортсменам повышать свои достижения, отмечено, что интенсивность нагрузки при лактатном (анаэробном) пороге соответствует максимальной

интенсивности работы, которая может поддерживаться на постоянном уровне. Используя приведенные в этой работе данные, получим, что в среднем человек может поддерживать свою работоспособность на постоянном уровне, выполняя работы интенсивностью до 75 Вт. Эти нагрузки соответствуют (согласно отечественной классификации) «легкой физической работе». Ежедневный труд, а также тренировки, сдвигают лактатный порог в сторону более интенсивных нагрузок, человек без особых усилий приобретает навыки выполнять работу, относящуюся к категории I. Средней тяжести и тяжелые физические работы соответствуют нагрузкам (выше лактатного порога), при которых начинается нелинейное повышение концентрации лактата в крови. Высокий уровень молочной кислоты – один из факторов, обуславливающих утомление.

Характер изменения «показателей теплового состояния» организма при физической нагрузке (по сравнению с состоянием покоя) демонстрирует сводная таблица 1.3.8.

Таблица 1.3.8.

Изменения температуры тела и кожи, основных физиологических показателей у людей при динамической работе

Характер работы	Расход энергии, Вт	Средняя температура ядра, °С	Среднее значение СВТК, °С	Минутный объем дыхания, л/мин	Частота сердечных сокращений, д./мин	Поглощение кислорода, л/мин
Легкая категория Ia	до 139			30	до 100	до 1,0
категория Ib	140-174			50	до 130	1,0-1,5
Средняя категория Pa	175-232	37,1	31,5	75	до 155	1,5-2,35
категория Pb	233-290	37,4	31,0	90	до 170	2,35-3,2
Тяжелая категория III	≥ 290	37,7	30,0	до 110-130	170-190	3,2

Проведенный анализ работ по функционированию физиологических систем человека позволил нам вывести простую связь между величиной общих энергозатрат $W_{пол}$ и численным значением поглощаемого кислорода (V_k):

$$W_{пол} = 69,6 \cdot (1 + V_k), \text{ Вт.} \quad (1.3.3)$$

Становится ясным принцип разграничения работ по категориям (с точки зрения физиолога):

- работы, отнесенные к категории Ia, могут выполняться практически любым здоровым человеком в течение длительного времени, так как мощности этих работ не превышают анаэробный порог обмена для не тренированных и неадаптированных к работе людей;
- работы, относящиеся к категории Ib, по мощности близкие к порогу анаэробного обмена, величина которого зависит от степени тренированности человека и его привычке к труду;

- работы, относящиеся к категории IIa, по нагрузке превышают анаэробный порог обмена, но температура ядра еще существенно не изменилась; в крови начинают нарастать продукты анаэробного обмена, увеличивается кислородный долг;
- работы, относящиеся к категории IIб, по нагрузке значительно превышают анаэробный порог обмена, температура ядра возрастает; в крови накапливаются продукты анаэробного обмена, увеличивается кислородный долг; нагрузки должны ограничиваться по времени и перемежаться с отдыхом;
- работы, относящиеся к категории III, очевидно предъявляют к функциональному состоянию человека повышенные требования; у людей, постоянно испытывающих нагрузки, высок риск получить профессиональное заболевание.

Таблица 1.3.9.
Показатели теплового состояния, положенные в основу выработки требований к параметрам оптимального и допустимого микроклимата [4].

Характер работы	Расход энергии, Вт		Средняя температура ядра, °С	Среднее значение СВТК, °С	Влаготепери, г/ч	Частота сердечных сокращений, д./мин
Легкая категория Ia	до 139	верхняя граница	37,4	35,2	100	85
		оптимальные значения	36,9 – 37,2	34,4 – 32,2	40-60	до 80
		нижняя граница	36,7	31,7	40	
Легкая категория Ib	140-174	верхняя граница	37,5	34,8	145	95
		оптимальные значения	37,0 – 37,4	34,1 – 32	61-100	до 90
		нижняя граница	36,8	31,6	60	
Средняя категория IIa	175-232	верхняя граница	37,7	34,3	175	110
		оптимальные значения	37,1 – 37,5	33,0 – 31,2	80-150	до 110
		нижняя граница	36,9	30,6	80	
Средняя категория IIб	233-290	верхняя граница	37,8	33,2	210	120
		оптимальные значения	37,2 – 37,7	33,8 – 30,1	100-190	до 110
		нижняя граница	37,0	30,0	100	

Тяжелая категория III	291-349	верхняя граница	37,9	32,6	300	130
		оптимальные значения	37,3 – 37,8	31,0 – 29,1	120-250	до 110
		нижняя граница	37,2	29,0	120	

§ 1.4. ФИЗИОЛОГИЯ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ

1.4.1. Основные положения

Сохранение постоянной температуры тела организма возможно лишь путем соблюдения теплового баланса, т.е. при условии, что продуцированное тепло равно теплу, отдаваемому во внешнюю среду. Чтобы уравновесить теплопродукцию и теплоотдачу, организм человека должен иметь соответствующий механизм терморегуляции. Под терморегуляцией подразумевают совокупность физиологических процессов, обусловленных деятельностью центральной нервной системы и направленных на поддержание температуры мозга и внутренних органов в узких определенных границах, несмотря на значительные колебания температуры окружающей человека среды и собственной теплопродукции организма..

В физиологии процессы терморегуляции человеческого организма, обеспечивающие поддержание постоянной температуры тела, разделяются на

- процессы химической терморегуляции, связанные с теплопродукцией;
- физические процессы регуляции, связанные с теплоотдачей.

Как полагает Benzinger Т., реакции физической и химической терморегуляции могут в совокупности обеспечить термостабильное состояние организма при разной температуре ядра тела лишь до тех пор, пока суммарная тепловая или холодовая нагрузка не превышает нормального уровня теплопродукции (теплоотдачи) в покое примерно в 4 раза. В покое теплопродукция (и соответственно теплоотдача) составляет 90-100 Вт, т.е., если суммарный приход или расход тепла превышает уровень 360-400Вт, то поддержание термостабильного состояния за счет физиологических реакций терморегуляции делается невозможным. Смысл поведенческих реакций и состоит в том, чтобы ввести теплообмен в указанные пределы» [5].

В этой же работе, автор, ссылаясь на такой компетентный источник, как «Специальная Комиссия по составлению словаря терминов и символов в области терморегуляции», отмечает, что замена распространенного термина «терморегуляция» на «температурная регуляция» отражает современное представление о природе изучаемой функции. Автор пишет » есть основания считать целью или объектом регуляции при работе, как и в покое, именно температуру глубоких слоев тела, а температуру оболочки тела – средством регуляции, т.е. переменным параметром».

Приводимые ниже сведения о физиологии терморегуляции человека почерпнуты из фундаментального труда [5].

1.4.2. Терморегуляция в охлаждающем микроклимате

Воздействию охлаждающего климата в зимний и переходные периоды года подвергаются люди, работающие на открытом воздухе. Это – нефтяники, строители, рабочие горнорудной и угольной промышленности, рабочие железнодорожного транспорта, геологи и др. Охлаждающий микроклимат сопутствует деятельности человека и в производственных помещениях, например, в хладокомбинатах. В ходе своего эволюционного развития человек не выработал устойчивого приспособления к холоду. Среди климатических факторов он оказывает наиболее неблагоприятное воздействие, выражающееся как в различной степени неприятных общих и локальных ощущений, так и в возникновении предпатологических и патологических состояний.

Суть поведенческой терморегуляции заключается в использовании теплоизоляционной одежды, которая частично изолирует поверхность тела человека от непосредственного контакта с окружающей средой, а также в создании оптимального микроклимата в бытовых и производственных помещениях.

При оценке охлаждающих воздействий в природных, бытовых и производственных условиях имеются трудности и возникают даже парадоксальные ситуации. Они определяются двумя основными причинами. Во-первых, актуальное охлаждающее воздействие принадлежит метеоусловиям, непосредственно влияющим на тело объекта. В естественных условиях организм отделен от среды термоизолирующими барьерами (одеждой, жилищем). Оценка же охлаждающих условий в широком обиходе обычно ведется по погодным метеорологическим условиям. Еще нередко высказывается мнение о том, что длительное пребывание в холодном климате земного шара равнозначно длительному влиянию холода на организм. Иллюстрацией ошибочности таких представлений может служить, например, следующий вывод специальных исследований: полярники не испытывают охлаждения и у них не развивается адаптация к охлаждению. На полярных зимовках люди живут в помещениях с высокой температурой, они выходят на открытый воздух тепло одетыми и при этом выполняют тяжелую физическую работу с высокой теплопродукцией.

Вторая трудность в определении возможности охлаждения организма состоит в характерной нестабильности теплового обмена человека. Например, при резком возрастании теплопродукции (мышечная работа в охлаждающей среде) становится избыточной теплоизоляция одежды, предотвращавшей охлаждение в состоянии покоя. Тепло в данном случае будет накапливаться в теле (вплоть до появления теплового удара). С другой стороны, обильное отделение пота при перегревании приводит к смачиванию одежды, понижению ее теплоизоляции и затем, по окончании работы, к резкому охлаждению и переохлаждению.

Однако совершенно очевидно, что для поддержания температуры внутренних органов на необходимом уровне в охлаждающих условиях реакции системы терморегуляции «должны быть направлены»:

- на увеличение теплопродукции,
- на уменьшение теплоотдачи.

Существует несколько путей для увеличения продукции тепла в организме: специфическое динамическое действие пищи, дрожь, произвольное сокращение мышц и несократительный термогенез.

Одной из первых реакций на охлаждение является возрастание теплопродукции. Начиная с некоторой критической точки температуры $T_{кр}$ (для обнаженного человека $T_{кр}=28^{\circ}\text{C}$) теплообразование возрастает по мере снижения температуры воздуха (T_v). В

интервале температур $T_v = (10-28)^{\circ}\text{C}$ снижение T_v на один градус обуславливает повышение теплопродукции на 10% по отношению к интенсивности основного обмена веществ, соответствующей 88Вт.

Математически это можно записать в виде соотношения $W(t) = 88 \cdot (3,8 - t/10)$ Вт, где t – температура среды ($^{\circ}\text{C}$).

Для наглядности приведем результаты численных оценок по принятому соотношению в табличном виде:

Таблица 1.4.1.

Результат оценок теплопродукции

$t, ^{\circ}$	28	24	20	16	12	10
$W(t), \text{Вт}$	88	123	160	194	230	246

Отсюда видно, что при снижении внешней температуры до 16-18 $^{\circ}\text{C}$ теплопродукция становится сопоставимой с уровнем энерготрат, необходимых для совершения работы средней тяжести. Очевидно, для одетого человека метаболическая реакция на холод несколько иная. Ее определение в зависимости от теплоизоляционных свойств одежды возможно лишь на основе анализа уравнения теплового баланса (см. гл.3-4).

Несмотря на то, что при остром действии холода потребление кислорода может повышаться и при отсутствии дрожи, дрожь представляется самым эффективным и наиболее постоянным из всех видов теплопродукции, повышающейся при остром действии холода. Термогенная эффективность дрожи значительно выше таковой при произвольной мышечной деятельности, так как при дрожи работа не совершается и вся энергия этого сокращения превращается в тепло. Метаболические реакции на холод состоят в активации метаболизма в скелетных мышцах, внутренних органах и бурой жировой ткани, при этом мобилизуются жиры и углеводы, необходимые для экзотермических реакций обмена веществ.

Другой непосредственной реакцией на внешнее охлаждение является падение температуры поверхностных тканей. Повышение теплопотери с различных участков оболочки тела приводят к понижению ее температуры – наиболее ранней реакции покровных тканей тела на охлаждение. Возникающие сосудистые реакции в оболочке тела (сужение сосудов) уменьшают интенсивность теплоотдачи на 15 – 20%.

Физическое значение сужения периферических сосудов состоит в повышении теплоизоляции покровных тканей тела. Внутренние органы отделяются от внешней среды последовательными термоизолирующими слоями: мышцами, жировой тканью, собственно кожей, эпидермисом и волосами.

В теплопередаче от ядра к оболочке тела главную роль играет конвективный перенос тепла с циркулирующей кровью. Теплоотдача с поверхности кожи в окружающую среду в некоторой степени зависит от толщины наружного слоя эпидермиса, плохо снабжаемого кровью. Однако главную роль играет величина кровотока в коже. Если полагать, что за короткие отрезки времени удельная плотность и удельная теплоемкости крови существенно не изменяются, то величина теплоотдачи будет зависеть от количества крови, циркулирующей в поверхностных слоях тела, и ее температуры. Оба последних показателя в свою очередь определяются реакцией сосудов оболочки на действие холодового раздражения, т.е. причиной чисто физиологической.

Падение температуры поверхностных тканей и уменьшение кровотока в их сосудах приводит к повышению теплоизоляции организма, причем важнейшее значение здесь имеет перепад температур тело – среда. Величина теплоизоляции на пути теплового потока из внутренних областей тела в среду (в зависимости от кровообращения) и составляет при их максимальном сужении 0,8 – 0,9 кло.

Температура ядра тела и СВТК

Динамика теплоотдачи с поверхности тела в окружающую среду по мере охлаждения тела в целом у обнаженных испытуемых характеризуется тем, что в первые минуты она подчиняется физическим законам и возрастает линейно с увеличением перепада (тк – тв). Характерные сдвиги температуры и теплоотдачи обнаружили и при охлаждении конечностей.

Таблица 1.4.2.

Градации теплового состояния организма человека, выполняющего легкую работу в условиях охлаждения [10]

Характеристика теплового состояния	Потери влаги, г/ч	Температура ядра тела, °С	СВТК, °С	Разница между температурой туловища и конечности, °С
Комфортное	100-150	нормальная	31-33	6-2
Слабое напряжение теплорегуляции ("1-х")	100	нормальная	31-29	до 8
Умеренное нестационарное напряжение терморегуляции ("2-х")	100	нормальная	29-27	до 10
Большое и чрезмерное напряжение терморегуляторной системы ("3-х" и «4-х»)	100	возможно, снижена; снижена	23-27 при "3-х"; 23 при «4-х»	10

В таблице 13 (см. также табл.1) приведены значения средневзвешенной температуры кожи у человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя и подвергающегося воздействию холода.

Как следует из этих классификаций, лишь при «легком напряжении задержки теплоотдачи» или «слабом напряжении терморегуляции» мы видим охлаждение в «чистом виде», без замерзания и гипотермии. К легкой степени общего охлаждения относится снижение температуры туловища до 35-33°С. Эта стадия не сопровождается сдвигами температуры ядра тела, отсутствуют нарушения физической и умственной способностей и патологические реакции. При слабом и умеренном напряжении терморегуляции температура конечностей снижается до 18-19°С.

Последующие стадии охлаждения и его средняя и тяжелая степени характеризуются более выраженными патологическими нарушениями. В работе [9] указывается, что «температура ядра менее 34,4°С свидетельствует о потере способности к терморегуляции».

Итак, если гомойотермный организм оказывается в охлаждающих внешних условиях, то теоретически возможны два типа ответных реакций. Первый тип реакций – это реакции, направленные на поддержание на постоянном уровне не только температуры ядра, но и покровных тканей. Расчеты показывают, что для того чтобы значение СВТК сохранилось на уровне 31-33°С необходимо выполнять тяжелую работу, и чтобы кровообращение в поверхностных тканях значительно увеличилось. Но возрастание кровообращения в коже требует значительного увеличения нагнетательной функции сердца и невыгодного для организма перераспределения минутного объема крови: уменьшение его доли в мышцах, внутренних органов, т.е. там, где происходит усиленный термогенез и требуется интенсивное кровообращение. Становится ясно, что для организма более экономным оказывается второй тип реакций, состоящий не в поддержании температуры тканей оболочки на постоянном и высоком уровне, а в активной сосудосуживающей реакции покровных тканей, со снижением их температуры, уменьшением теплоотдачи, но с сохранением температуры внутренних органов и мозга. Организм здесь как бы жертвует тепловым гомеостазом оболочки тела ради поддержания гомеостаза его ядра.

Некоторые особенности кровообращения в конечностях

Пальцы рук, ног, ладони и ушные раковины – это те части оболочки тела, которые занимают важное место в теплообмене со средой. Наибольшее значение в регулировании теплоотдачи имеют артериовенозные анастомозы. Анастомозы в филогенезе появились у гомойотермных животных; в ходе онтогенеза они сформировались одновременно с приобретением организмом свойств терморегуляции.

Кровоток в коже при термических раздражениях благодаря раскрытию или спазму артериовенозных анастомозов изменяется в широких пределах: от 0,01 до 1,5мл/г мин. При охлаждении конечностей кровь, минуя капилляры, циркулирует через артериовенозные анастомозы. Это предотвращает охлаждение в конечностях значительной массы крови и отток охлажденной крови во внутренние части тела, к сердцу.

Экспериментальные исследования показали, что при действии холодного воздуха на испытуемого, изменения температуры пальцев рук имеют волнообразный характер, обусловленный волнообразными флуктуациями просветов сосудов (так называемый рефлекс Льюиса). Такой приспособительный характер (периодическое «отепление» периферических тканей) препятствует непрерывному и длительному нарушению их функций.

Предотвращение потерь тепла с конечностей путем их искусственной теплоизоляции представляет собой трудную, а иногда и почти неразрешимую задачу в естественных условиях охлаждения человека. Причиной тому является так называемый фактор кривизны, определяющий условия теплоотдачи с поверхности цилиндрических тел малого радиуса, например пальцев. В этом случае теплоотдача оказывается значительной и может иметь место локальное охлаждение.

Резкое охлаждение рук работающих сопровождается понижением тактильной чувствительности пальцев и выносливости мышц кисти к статическим усилиям. В результате уменьшается работоспособность, а возникающие от холода болевые ощущения в кистях рук и стопах ног лимитируют продолжение работы. Понижение температуры кожи и тканей кисти и стопы может достигать такой степени выраженности (до 10°С и ниже), при которой возможно нарушение тканевого дыхания и далеко идущая холодовая патология.

Изменения системного кровообращения

Наряду с изменениями кровотока в «оболочке» тела при действии холода существенно повышается кровоток во внутренних органах и мышцах. Увеличение кровотока в скелетных мышцах сочетается с повышением утилизации ими кислорода. Данные этого рода позволили исследователям прийти к выводу, что перераспределение кровотока на холоде направлено на повышение теплопродукции и обогреванию жизненно важных органов.

Пример реакции организма на самые слабые степени охлаждения тела человека (в течение 10 мин) приведен в работе [5] (таблица 1.4.3).

Таблица 1.4.3.

Гемодинамические показатели при слабой степени охлаждения

Время от момента начала охлаждения, мин	Средневзвешенная температура кожи, °С	Минутный объем крови, л/мин	Среднее гемодинамическое давление, мм рт. ст.	Минимальное артериальное давление, мм рт. ст.
0	34,1	4,4	105	69
10	32,6	4,0	105	73
40	34,0	3,8	105	72
60	34,1	4,1	105	72

При слабой степени охлаждения минутный объем крови уменьшился на 10%, при этом СВТК уменьшилось на 1,5°C. Уровень СВТК довольно быстро восстановился после окончания воздействия холода, скорость же кровотока восстановилась только через час (условия эксперимента в [5] не приведены).

По литературным данным холод оказывает влияние на деятельность сердечно-сосудистой системы, выражающееся в снижении частоты сердечных сокращений и повышении артериального давления, преимущественно его минимальных значений. Степень изменений зависит от темпа и степени охлаждения организма.

Система дыхания в условиях охлаждения

В условиях холода количество водяных паров, присутствующих в окружающем воздухе, незначительно. Поэтому для его кондиционирования требуется больше влаги и тепла, и, следовательно, слизистая оболочка дыхательных путей охлаждается при вдохе в большей степени, чем в комфортных условиях. При 0°C и относительной влажности 55% температура выдыхаемого воздуха равна 28°C. Возврат тепла и влаги при этой температуре составляет 30-40%.

Исследуя дыхательные теплотери у людей на холоде, (Webb, 1955) обнаружил, что хотя сохранение тепла и влаги при очень низких температурах среды может достигать 50 %, теплотери с дыханием все же неуклонно растут с понижением температуры, становясь в экстремально холодных условиях сравнимыми с общей теплопродукцией.

Известно, что существенное увеличение легочной вентиляции (например, при физической нагрузке) и (или) снижение температуры вдыхаемого воздуха вызывают значительное охлаждение выдыхаемого воздуха. В работе [4] приведены следующие данные. Сниже-

ние температуры вдыхаемого воздуха до -17°C при минутном объеме дыхания 60 л/мин приводило к снижению температуры в легких до 27°C, а в трахее даже до 20°C. Однако, в работе [5] приводятся результаты испытаний на кроликах, которые показывают, что при дыхании воздухом, имеющим температуру -70°C, не было обнаружено снижение температуры альвеолярного воздуха. Оставим эти расхождения на суд специалистов.

Холодовое воздействие увеличивает потребление кислорода в большей степени, чем вентиляцию, т.е. эффективность дыхания повышается.

Очевидно, что в наиболее тяжелых условиях кондиционирующий аппарат дыхательного тракта находится при сочетанном действии гипервентиляции и низкой температуры воздуха, например при выполнении физической работы на открытом воздухе. В этих условиях теплоотдача с дыханием может превысить 100ккал/ч, что сравнимо с общей теплопродукцией.

Потери влаги в условиях острого охлаждения

В ходе экспериментальных исследований [3] установлено, что количество влаги, испаряющейся с поверхности тела, при легком или сильном напряжении терморегуляции (и даже при резком охлаждении тела), не отличается существенно от такового в зоне термического комфорта и равно около 100г/ч. В естественных условиях охлаждающие факторы нередко комбинируются с напряженной физической работой. При физической работе повышается температура покровных тканей, расположенных над работающими мышцами. Все это и приводит к довольно значительному уровню потери влаги при работе в условиях охлаждения.

Некоторые терморегуляторные реакции при работе и их энергетическая стоимость

Большую актуальность представляет вопрос о физической и химической терморегуляции у человека при работе в условиях охлаждения. Суть вопроса состоит в конфликте центральных и локальных терморегуляторных реакций. Физическая терморегуляция при работе направлена на усиление теплоотдачи с поверхности тела, что возможно лишь при усилении кожного кровотока. Но под влиянием внешнего охлаждения кожные и внутрисосудистые терморепторы вызывают сужение сосудов и, следовательно, ведут к снижению теплоотдачи.

Современный взгляд на терморегуляцию у человека при работе состоит в том, что регуляция направлена на поддержание температуры ядра тела на уровне, зависящем от интенсивности метаболизма: чем выше последний, тем выше, хотя и не в линейной зависимости, температура ядра тела. Но если температура ядра тела постепенно превышает определенный уровень, то непроизвольно снижается и темп работы, а, следовательно, и теплообразование.

"Средствами регулирования" являются не только реакции теплорассеяния (кровоснабжение кожи и интенсивность потоотделения), но и сам уровень теплопродукции.

Увеличение теплоотдачи путем повышения температуры и теплопроводности кожи, а также путем активной секреции пота требует дополнительных энерготрат на работу сердечной и дыхательной мускулатуры, потовых желез и, следовательно, сама по себе приводит к увеличению теплообразования в организме.

В работающих группах мышц и в коже над ними вазодилататорные реакции преобладают над констрикторными.

Экспериментальные данные показали, что при действии холодного воздуха на человека в состоянии физиологического покоя, у одетых испытуемых теплообразова-

ние в короткие отрезки времени может возрастать в 2 – 3,5 раза по сравнению с контролем, а при выполнении мышечной работы – в 4,4 раза. Возрастание теплопродукции при мышечной работе имеет основное компенсаторное значение для сохранения теплового баланса.

Основываясь на ряде экспериментов, авторы работы [5], утверждают, что при работе терморегуляторные центры стремятся поддержать температуру тела на уровне, адекватном работе, и всякое изменение тепла в организме компенсируют соответствующими реакциями химической терморегуляции.

Принципиальная сохранность физической и химической терморегуляции при работе в условиях охлаждения объясняет тот факт, что тяжелую работу субъективно легче выполнить в условиях умеренного охлаждения, чем при комфортных или повышенных температурах. Но в условиях резкого охлаждения возникает своеобразная ситуация: повышение температуры ядра и активное потоотделение на отдельных участках кожной поверхности, главным образом в области туловища, не исключает резкого сужения сосудов и дрожи в дистальных областях.

Какова физиологическая стоимость этих терморегуляторных реакций и меняется ли она при переходе от покоя к мышечной работе?

Как показано в работе [11], физиологическая стоимость усиления теплоотдачи при работе значительно меньше, чем в покое. Так, если в покое отдача избыточного тепла путем физической терморегуляции обходится организму 0,5 ккал дополнительных энерготрат, то при работе – всего 0,3 ккал.

При изучении влияния работы в условиях резкого охлаждения было обращено внимание на следующую реакцию, имеющую явно терморегуляторный характер: вдыхание холодного воздуха при -30°C не вызывало каких-либо изменений легочной ткани, но приводило к резкому возрастанию сопротивления на вдохе. Такое местное сужение просвета верхних дыхательных путей имело своим результатом уменьшение скорости вдоха и тем самым более быстрое согревание воздуха до его поступления в альвеолы. Несомненно, что указанное явление играет свою роль в затруднении дыхания, часто испытываемого людьми при очень низких температурах, получившем в литературе название «полярной одышки».

1.4.3. Терморегуляция в нагревающем климате

С нагревающим микроклиматом человек сталкивается при работе в горячих цехах различных отраслей промышленности (металлургической, стекольной, пищевой и др.), в глубоких шахтах, а также при работе на открытом воздухе в летний период. Температура воздуха в горячих цехах металлургической промышленности может достигать в летний период $33-40^{\circ}\text{C}$; а инфракрасное излучение – $(2-12) \text{ ккал/см}^2\text{мин}$.

В зависимости от характера поступления и превалирования того или иного компонента микроклимата схематически выделяют цехи с преимущественно конвекционным или с преимущественно радиационным микроклиматом. Микроклимат большинства горячих цехов многих отраслей промышленности характеризуется преобладанием лучистого тепла, которое является основным климатообразующим фактором. Интенсивность теплового (инфракрасного) излучения может достигать $2100-4900 \text{ Вт/м}^2$ (в кузнечно-прессовых, литейных цехах), $3500-7000 \text{ Вт/м}^2$ (цеха стекольных заводов), $7000-14000 \text{ Вт/м}^2$ (мартеновские, электросталеплавильные, доменные цеха металлур-

гических заводов) [4]. Высокая интенсивность излучения приводит к нагреванию ограждений, оборудования, превращая их во вторичные источники излучения.

Нагревающий микроклимат конвекционного типа (продуктовые цехи сахарных заводов, термические цехи, машинные залы электростанций, цехи бумажного производства и т.п.) характеризуется:

- высокими температурами воздуха, превышающими в теплый период года на $7-10^{\circ}\text{C}$ температуру наружного воздуха;
- наличием огромных нагретых поверхностей оборудования с температурой $45-55^{\circ}\text{C}$;
- незначительными подвижностями воздуха.

В некоторых производствах повышенная температура сочетается с высокой влажностью воздуха. Такие условия характерны для красильных отделений текстильных фабрик, глубоких шахт, теплиц и т.п.

Например, температура воздуха в бойлерной может равняться $48,8^{\circ}\text{C}$, в отдельных рудниках Южной Африки на глубине зарегистрирована температура $41-49^{\circ}\text{C}$. Рабочие при ремонте мартеновых печей подвергались воздействию окружающих температур от 50 до 170°C .

Согревающими свойствами обладают разновидности жаркого или теплого климата земного шара. В целом климатические разновидности могут быть сведены к двум основным типам согревающего климата: горяче-сухому и тепло-влажному, существенно различающимся с точки зрения воздействия на тепловой обмен организма.

Горяче-сухой климат характерен для зоны пустынь. Этому климату свойственны: интенсивное солнечное излучение (почвы и предметы отражают около 30 % падающего света), низкая влажность, высокая температура воздуха поверхности земли и предметов на ней днем. В ночные и дневные периоды имеются значительные суточные колебания температуры. Так как почвы при температуре выше $65,6^{\circ}\text{C}$ поглощают тепло солнечного излучения, то почва является источником длинноволнового теплового излучения, направленного к телам, имеющим температуру, сходную с таковой на поверхности тела человека. Окружающий воздух, имея температуру выше кожи и одежды, также не охлаждает, а согревает тело за счет конвекционных токов. Иными свойствами обладает тепло-влажный климат в тропических областях земного шара. Температура воздуха здесь несколько ниже, чем в горяче-сухом климате ($32,2-35^{\circ}\text{C}$), но средняя относительная влажность достигает 75% и выше. Влажная атмосфера менее прозрачна и поэтому лучевая нагрузка на организм уменьшена. Однако суточные отличия температур невелики, и ночью почти также тепло, как и днем.

Температура ядра тела и СВТК

Подобно охлаждающим влияниям, согревающее воздействие внешней среды носит комплексный характер, т.е. определяется различными метеоусловиями – температурой, влажностью, скоростью движения воздуха, величиной тепловой радиации.

При температуре внешней среды, равной или выше значений СВТК для условий температурного комфорта ($29-33,7^{\circ}\text{C}$), тело человека больше не может отдавать излишки тепла в окружающую среду путем конвекции и радиации. Более того, оно само начинает получать тепло за счет солнечной инсоляции, радиационного излучения со стороны нагретых поверхностей, нагретого воздуха.

При воздействии на человека жары (в нагревающем микроклимате) существует корреляции между ощущениями человека, находящегося в покое, и объективными по-

казателями его теплового состояния. Определяющее значение имеет температура тканей: чем выше средняя температура тела, тем жарче «перегреваемому».

Таблица 1.4.4.

Тепловое состояние человека при перегревании

Теплоощущения	Температура ядра, °С	СВТК, °С	Средняя температура тела, °С	Влагопотери, г/ч
Комфортное	37,2 0,4	33,2 1	35,8 0,5	50 10
Тепло	37,2-37,6	34,9 0,7	36,6 0,3	60-250
Жарко	37,6-37,8	36,0 0,6	37,2 0,3	250-500 (пот стекает)
Очень жарко	повышение более чем на 0,3°С/ч	36	37,5	500-2000 (пот стекает)

Единственным путем потери тепла в условиях нагревающего климата является испарение влаги с поверхности кожи и слизистой оболочки дыхательных путей. По мере усиления потоотделения и испарения влаги с поверхности кожи, покровные ткани тела охлаждаются, и тогда теплоощущение перестает зависеть от средней температуры тела.

Между влажным и сухим теплом имеется большое различие. Пока возможно испарение, температура тела не повышается до такой степени, чтобы вызвать максимальную реакцию со стороны потовых желез, даже в том случае, если температура внутренних органов настолько возросла, что препятствует расходованию энергии.

Возникает вопрос: применима ли классификация тепловых состояний к человеку в процессе значительной мышечной работы в условиях нагревающего микроклимата?

Теоретический анализ вопроса показывает, что поскольку при работе в условиях нагревающего микроклимата температура кожи независимо от нагрузки быстро достигает некоторого предела (около 36°С), ее изменения уже не могут больше служить одним из показателей теплового состояния. Не может им быть и уровень температуры ядра тела, так как он, как было отмечено выше, зависит от тяжести выполняемой работы.

Роль потоотделения в нагревающем микроклимате

Увеличение теплоотдачи путем повышения температуры и теплопроводности кожи (при усиленном кровотоке она возрастает в 3-5 раз), а также путем активной секреции пота требует дополнительных энерготрат на работу сердечной и дыхательной мускулатуры, потовых желез и, следовательно, само по себе приводит к увеличению теплообразования в организме.

Регуляция потоотделения осуществляется, с одной стороны, путем рефлекторных влияний с поверхности кожи и рецепторов, расположенных более глубоко, на центр термического потоотделения и, с другой – за счет воздействия теплой крови, притекающей с периферии в глубокие структуры головного мозга и повышающей температуру гипоталамических центров.

«Стекание пота» соответствует большой и чрезмерной стадиям перегрева. Этим стадиям характерно повышение температуры ядра тела. Как показали исследования, приведенные в работе [5], процесс теплоотдачи путем потоотделения достигает своего физического предела в условиях покоя при температуре ядра тела 38,0-38,2°С. Однако сама по себе температура ядра тела не является показателем «перегревания». Этот предел обуславливается уже нарушениями системы кровообращения.

Мощность потовыделительного аппарата чрезвычайно велика. Как установлено, максимальная скорость секреции пота достигает 3,5 л/ч. Если бы все это количество испарялось с поверхности тела, оно могло бы обеспечить теплоотдачу в 30 ккал/мин. Но это на много превышает возможности даже самых тренированных атлетов. Обычно же интенсивность потоотделения при тяжелой работе в условиях нагревающего микроклимата не превышает 1 – 1,5 л/ч, но при условии неограниченной компенсации потерь влаги.

Для того чтобы потовые железы работали эффективно, необходимы определенные условия. Это может быть достигнуто только при увеличении функциональной нагрузки на потовые железы и развитии структурных изменений, увеличивающих их мощность.

Экономия физиологической стоимости физической терморегуляции достигается главным образом за счет более равномерной секреции пота на всей поверхности тела и снижения ее поверхностного натяжения. Это приводит к растеканию капель пота по поверхности кожи и увеличению эффективной поверхности испарения.

Установлена зависимость уровня выделения пота от T_t в интервале 37-38,2°С: чем выше T_t , тем потоотделение интенсивнее. При температуре $T_t = 38,2^{\circ}\text{C}$ эта зависимость нарушается: дальнейшее повышение температуры ядра тела не приводит к увеличению теплоотдачи, которая достигает своего физического предела. Когда температура ядра тела повышается до 39°С, даже тренированные люди теряют способность выполнять какую-либо работу и испытывают состояние тяжелого теплового истощения. В интервале между 38, 2 и 39,0°С состояние людей оценивается как возрастающе трудное и переносимое только в течение коротких отрезков времени.

Сердечно-сосудистая система

Усиление кровотока, необходимое для увеличения теплоотдачи путем переноса тепла от более нагретых внутренних органов к поверхности кожи, в условиях перегрева обеспечивается главным образом за счет увеличения количества сокращений сердечной мышцы в единицу времени. Увеличение систолического артериального давления наблюдается при воздействии на человека инфракрасного излучения и при выполнении физической работы, что свидетельствует о выраженном напряжении функционального состояния организма [5].

При перегревании отмечают значительное уменьшение диастолического давления. Систолическое давление может либо увеличиваться, либо уменьшаться по сравнению с уровнем, наблюдающимся в комфортных условиях.

Отсутствие изменений артериального давления по сравнению с величинами, зарегистрированных в условиях теплового комфорта, свидетельствует о хорошей переносимости человеком тепловой нагрузки. Изменение артериального давления и учащение сердечных сокращений для людей, находящихся в состоянии относительного физического покоя, наступает обычно при температуре воздуха ?35°С.

Гемодинамические показатели

При физической работе около 20% дополнительного минутного объема крови протекает не через работающие мышцы, а через кожные покровы, выполняя тем самым только терморегуляторную роль.

Физиологами установлено, что в одних и тех же термических условиях среды работа сердца оказывается сравнительно более экономной при физической нагрузке, чем в покое.

Как уже подчеркивалось выше, для передачи продуцированного в организме тепла к поверхности тела необходимо непрерывное периферическое (кожное) кровообращение. В условиях обильного выделения пота по мере нарастания дегидратации кровеносной системе делается все труднее поддерживать эту периферическую циркуляцию. Затрудненность кровообращения выражается в компенсаторном учащении пульса. Однако это неполная компенсация, т.к. температура тела также повышается.

Независимо от того, является ли повышение температуры тела следствием уменьшения циркуляции крови или нет, повышение температуры более чем на один градус, вызывает учащение пульса на 20 уд/мин.

Учащение пульса может привести к нарушению работы сердца, т.к. укорочение систолы означает, что сердце выполняет дополнительную работу, необходимую для ускорения движения более вязкой крови, а также, что сердечная мышца отдыхает более короткое время. При этом возникает порочный круг, в котором уменьшенный объем крови, расширившаяся сеть сосудов, большая вязкость крови и повышенная температура – все эти факторы делают кровообращение менее эффективным, что в свою очередь, приводит к дальнейшему повышению температуры и т.д.

Аккумуляция тепла в организме начинается не только при истощении компенсаторного резерва кровообращения, но уже при относительно слабой дегидратации. Таким образом, нагрузка, создаваемая обезвоживанием, складывается из напряжения сердца (выражающегося в учащении пульса) и накопления тепла (выражающегося в повышении температуры ядра тела).

Из всех признаков, которые могут сигнализировать о приближении обезвоживания и последующей неспособности человека к продолжению работы, большая частота пульса является наиболее надежной, особенно в тех случаях, когда люди выполняют одинаковую работу.

Результаты исследований характера влияния высокой температуры, работы и обезвоживания организма приведены в работе [13]. Авторы работы приводят следующие данные. Увеличение «рабочего» пульса на 10 уд/мин вызывается любым из перечисленных ниже усилений нагрузки на организм:

- повышением температуры воздуха на $6,7^{\circ}\text{C}$ выше температуры кожи;
- увеличением интенсивности работы на 75Вт;
- уменьшением веса тела (вследствие дегидратации) на 1,5%.

В ходе анализа результатов исследований авторами работы [13] был сделан вывод, что действие различных нагрузок на кровообращение суммируется, а также, что одинаковая общая нагрузка складывается из различных комбинаций напряжений, обусловленных работой и обезвоживанием. На основании полученных данных авторы установили следующие эквиваленты для напряжений:

- повышение температуры воздуха на $5,5^{\circ}\text{C}$ увеличивает напряжение кровеносной системы в такой же мере, как и расход энергии, равный 60Вт;

- обезвоживание, составляющая 1% веса тела, увеличивает напряжение кровеносной системы в такой же мере, как и расход энергии, равный 50Вт.

Величина теплоизоляции на пути теплового потока из внутренних областей тела в среду составляет $0,15\text{ккло}$ ($1\text{ккло} = 0,155\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$) при максимальном расширении сосудов.

Система дыхания в нагревающем микроклимате

В зависимости от внешних условий теплоотдача с дыханием может меняться в весьма широком диапазоне. Так, если температура и влажность вдыхаемого воздуха превышает таковые альвеолярного, организм не только не теряет тепло, но получает его извне за счет конвективного согревания слизистой оболочки и конденсации водяных паров на ее поверхности. В экстремальных случаях это может привести к термическому поражению слизистой и развитию отека легких (Staub, 1977). Если же вдыхаемый воздух имеет высокую температуру ($40\text{--}45^{\circ}\text{C}$), но содержит незначительное количество водяных паров, температура поверхности верхних дыхательных путей за счет испарения снижается при входе до 35°C , что позволяет сохранить около 10% влаги, затраченной на кондиционирование.

Критерии состояния терморегуляторной функции

На основании сравнительно-физиологических данных, полученных при экспериментах на животных, позволило физиологам [5] предположить, что с увеличением массы тканей, близких по своей температуре к тканям ядра тела (а это обычно имеет место при мышечной работе), физиологическая роль температуры глубоких тканей в терморегуляторных реакциях повышается, а кожной поверхности – понижается. Это дает основание для сомнений, связано ли вообще изменение температуры ядра тела у человека со смещением установочной точки терморегуляторного аппарата вверх или вниз. Вполне допустимо считать, что оно имеет в своей основе другой механизм, в виде, например, дополнительной стимуляции различных терморегуляторных реакций, накладывающихся на реакции, характерные для состояния покоя.

Известно, что такие специфические терморегуляторные реакции, как, например, потоотделение, сужение или расширение кожных сосудов и т.п., могут иметь место и без всякой связи с изменившимися условиями теплообразования и теплоотдачи под влиянием эмоций, страха, гнева и т.п. Но если конкретный механизм повышения температуры внутренних слоев тела при работе остался еще не выясненным, то адаптивный, т.е. физиологически полезный и необходимый, характер этой реакции в настоящее время не оставляет место для сомнений.

Важным критерием состояния терморегуляторной функции при работе в нагревающем микроклимате может служить стабильность или нестабильность теплового состояния. В реальных условиях трудовой деятельности сколько-нибудь значительная мышечная нагрузка при повышенной температуре среды совершается, как правило, с перерывами. Поэтому большое практическое значение имеет физиологическое обоснование длительности периодов работы и отдыха и их соотношение. Из приведенных выше данных вытекает, что температура ядра тела при работе как физиологически регулируемая реакция адаптивного характера довольно быстро устанавливается на уровне, соответствующем тяжести выполняемой работы. До тех пор пока такие важнейшие показатели теплового состояния, как температура ядра тела, частота пульса, легочная вентиляция, теплоощущения и др., остаются во время работы на стабильном уровне, терморегуляторные реакции организма можно считать уравновешенными с состоянием среды. Если же эти параметры начинают непрерывно повышаться уже в процессе работы, функциональные способности терморегуляторного аппарата следует считать близкими к истощению.

Работоспособность в условиях нагревающего микроклимата

Как мы убедились, воздействие нагревающего микроклимата зависит от характера деятельности человека.

Из приведенных выше данных видно, что даже небольшое повышение температуры среды сверх уровня комфорта для человека, не проявляющего какую-либо физическую активность (сидячая работа), приводит к напряжению терморегуляторной функции. Работоспособность человека при умственном (сенсорном, интеллектуальном) труде снижается. Снижается общий тонус центральной нервной системы и способность к длительному наблюдению за сигналами или точному считыванию показаний приборов. Поэтому для операторских, диспетчерских, наблюдательных и т.п. видов деятельности следует избегать повышенной температуры в рабочих помещениях.

При значительной физической нагрузке в нагревающем микроклимате:

- увеличивается частота пульса (до 90-140 ударов в минуту),
- возрастает частота дыхания (до 20-26 циклов в минуту),
- снижается систолическое и диастолическое давление (примерно на 10 мм рт. ст.)

Длительная и систематическая работа в условиях нагревающего микроклимата приводит к понижению работоспособности.

Поскольку перенос тепла от глубоко лежащих тканей к поверхности тела является функцией периферического кровообращения, циркуляторная недостаточность представляет собой важный фактор, ограничивающий работоспособность человека в нагревающем микроклимате.

§ 1.5. О ВЛИЯНИИ ДРУГИХ ФАКТОРОВ МИКРОКЛИМАТА

До сих пор мы практически обсуждали физиологическое воздействие на человека только одного фактора микроклимата, а именно температуры. И это не случайно. Функции различных систем организма направлены на поддержание температуры ядра тела на определенном уровне.

Скорость движения воздуха влияет скорее на теплоощущения человека, облегчая (или усугубляя) процесс теплоотдачи путем конвекции. Степень этого влияния будет оценена в следующем разделе, когда мы перейдем к анализу математической модели теплового баланса.

Но известно, что движение воздуха может вызывать негативную реакцию через появление эффектов, обусловленных давлением воздуха на кожу: утомление рецепторного аппарата, высыхивание кожи. Поэтому при разработке нормативов на микроклимат учитывается именно этот факт. Хотя из повседневной практики мы знаем, что летом в солнечную погоду хороший ветерок улучшает наши теплоощущения. Более того, известно, что одним из защитных мероприятий в цехах с нагревающим микроклиматом является обдувание прохладным воздухом. В условиях охлаждающего микроклимата движение ветра, увеличивая эффективность конвекционного способа теплоотдачи, усиливает охлаждение организма.

Очевидно, что роль влажности воздуха более значительна. Мы видели, что эффективность дыхания зависит от влажности вдыхаемого воздуха. В значительной мере повышается и эффективность испарительной функции системы потовыделения, если окружающий воздух сухой. В работе [7], например, отмечается, что «толерантность к теплу практически полностью определяется влажностью воздуха». В совершенно сухом воздухе испарение

происходит эффективно, и человек может выдержать температуру до 65,6°C в течение нескольких часов. Если влажность воздуха равна 100%, внутренняя температура тела начинает повышаться уже при температуре окружающей среды около 34,4°C.

Инфракрасное излучение

Для оценки возможного воздействия инфракрасного излучения на работающих важное значение наряду со спектральной характеристикой имеет интенсивность излучения. Она измеряется количеством малых калорий, падающих на 1см² поверхности в минуту или больших калориях на 1 м² в час. Интенсивность теплового излучения на рабочих местах при отдельных производственных операциях колеблется от 0,1 до 15-18 кал/см² в минуту и даже выше. Следует отметить, что тепловой эффект прямого солнечного излучения на поверхности земли не превышает 1,3-1,5 кал/см² в минуту.

Чрезвычайно важной особенностью воздействия инфракрасного излучения на организм является способность этих лучей различной длины волны проникать на разную глубину и поглощаться соответствующими тканями. Короткие инфракрасные лучи 0,76-1,4 мк проникают через кожу головы, черепную коробку в мозговые оболочки, мозговую ткань и действуют непосредственно на различные клеточные образования.

Инфракрасное излучение оказывает общее и местное воздействие на организм. Общая реакция на облучение проявляется в повышении температуры кожи не только на облучаемой поверхности, но и на отдаленных от места облучения участках. Чем мощнее излучение, тем быстрее наступает максимум температуры на облучаемом участке кожи. При одной и той же интенсивности излучения температура кожи повышается тем меньше, чем короче длина волны. При облучении коротковолновыми инфракрасными лучами, проникающими в глуболежащие ткани, наблюдается также повышение температуры легких, головного мозга, почек, желез, мышц.

Инфракрасное облучение оказывает влияние на функциональное состояние центральной нервной системы – происходят изменения, свидетельствующие о преимущественном развитии тормозного процесса: понижение электрической чувствительности глаза, увеличение скрытого периода зрительно-моторной реакции, угасание условно-рефлекторных сосудистых реакций.

При интенсивном воздействии этих лучей на непокрытую голову может произойти так называемый солнечный удар, сопровождаемый головной болью, головокружением, учащением пульса, ускорением дыхания, затемнением и потерей сознания. Напоминая по своей клинической картине тепловой удар, солнечный удар в то же время резко отличается от теплового тяжелым поражением мозговых оболочек и мозговых тканей вплоть до выраженного менингита и энцефалита. В отличие от теплового удара температура тела при солнечном ударе не повышается.

Солнечный удар бывает главным образом у людей, подвергающихся непосредственному воздействию солнечного излучения (строители, сельскохозяйственные рабочие, рабочие на карьерах и др.). Такого рода поражения не угрожают людям, работающим в закрытых помещениях, даже если они подвергаются очень интенсивному инфракрасному облучению производственными источниками. Очевидно, кроме спектральных и энергетических свойств излучения значение приобретает направление лучей и в связи с этим разная локализация облучения солнцем и производственными источниками.

Приведем некоторые данные о лучистой (солнечной) энергии и поглощении ее различными тканями [13]. В таблице 1.5.1. приведены данные радиометрических измерений, наиболее типичные для условий пустыни.

Таблица 1.5.1.

Энергия солнечного излучения, ккал/м²/мин

Угол зенита, градусы	Длина волны			
	Весь спектр	Весь спектр, за исключением видимой области	(0,7-0,6), мк	(0,9-1,2), мк
0	14,7	8,7	5,0	2,7
0	13,2	7,3	3,9	1,9
60	10,6	5,2	3,3	1,5

Следующая таблица демонстрирует, каким тепловым воздействиям подвергаются любители продолжительного приема «солнечных ванн».

Таблица 1.5.2.

Количество тепла, получаемого обнаженным человеком за счет солнечной энергии, кКал/ч

Положение тела человека	Угол зенита, градусы	Тепло прямого солнечного излучения	Тепло солнечного излучения		
			Отражаемое тепло (от неба и почвы)		Общее количество тепла
вертикальное	0	54	68	96	218
	60	160	27	38	224
горизонтальное	0	230	68	40	338
	60	92	27	16	135

Одежда защищает тело человека, как от холода, так и от жары. Справедливость последнего положения легко доказать. О том, что одежда хорошо предохраняет тело человека от поступления лучистого тепла, свидетельствует тот факт, что разница в величине потоотделения на солнце и в тени у обнаженных людей вдвое больше, чем у людей одетых. В таблице 1.5.3 приведены поглощающие и отражающие свойства некоторых видов тканей и кожи человека.

Таблица 1.5.3.

Отражение различными тканями и кожей человека лучей различной длины волны

Отражающая поверхность	Весь солнечный спектр (0,3-2,5)мк			Отражение в инфракрасной области, %
	Пропускаемое излучение, %	Отраженное излучение, %	Поглощенное излучение, %	
Хлопчатобумажная ткань цвета хаки	0	56	44	64,5
Перкаль	2,5	48,5	49	55,0
Трикотаж	3,2	62,4	34,4	58,3
Саржа	0,2	51,7	48,1	58,9
Диагональ	0,1	26,3	73,6	30,2
Парусина	0	7,2	92,8	7,5
Кожа белая	-	45	55	-
Кожа темная (негры)	-	16	84	-

Роль одежды в нагревающем микроклимате значительно возрастает, когда температура воздуха превышает температуру кожи тела человека. Так как теплоемкость текстильных тканей очень низка, то накопление тепла в одежде невозможно; оно должно быть возвращено окружающей среде. В работе [11] приведены результаты экспериментов, которые показали, что «при ношении одежды, поглощающей столько же солнечной энергии, сколько поглощает и человеческая кожа, количество тепла, получаемое телом из окружающей среды, уменьшается более чем на 100кКал/ч». Полученные результаты легко могут быть объяснены, если обратиться к модели теплового баланса, что и будет сделано в следующем разделе.

Тепловые поражения

К тепловым поражениям, согласно «Международной классификации болезней, травм и причин смерти» [14], относятся следующие заболевания: тепловой и солнечный удар, тепловой обморок, тепловые судороги, тепловое истощение вследствие обезвоживания, тепловое истощение вследствие уменьшения содержания солей в организме, тепловое истощение неуточненное, тепловое утомление преходящее, тепловой отек, другие проявления теплового воздействия.

Одним из наиболее трагических эпизодов появления массовых тепловых поражений является высадка английского десанта в Персидском заливе в 1942 г. За период с мая по сентябрь в этом районе погибло от тепловых поражений 2364 человека, причем 65% умерло на кораблях или вскоре после высадки на берег (жаркий и влажный микроклимат).

Анализ распространенности отдельных форм тепловых поражений приводится по данным работы [13].

Тепловой удар возникает вследствие острой недостаточности терморегуляции организма. Эта форма теплового поражения опасна из-за большого количества летальных исходов. В механизме развития теплового удара ведущее место занимает декомпенсация терморегуляции под воздействием экзогенного и эндогенного тепла, которое своевременно не отдается организмом в окружающую среду вследствие недостаточности потоотделения. Большую роль в патогенезе теплового удара при физической работе на жаре играет гипокалиемия, обусловленная выходом калия из мышц в плазму крови и чрезмерной потерей его с потом.

Симптоматика и патогенез солнечного удара аналогичны таковым при тепловом ударе, при котором ведущим фактом, вызывающим накопление тепла в организме выше физиологического предела (600кДж/ч), является инфракрасное излучение солнца и, в меньшей мере, конвекционное тепло окружающего воздуха.

Тепловое истощение обусловлено значительной потерей солей при обильном потоотделении. Патогенетическая сущность теплового истощения заключается в перенапряжении механизма терморегуляции и срыве функции потоотделения, вследствие чего развивается перегревание организма.

Тепловой обморок связывают с расстройством функции сердечно-сосудистой системы вследствие интенсивной мышечной работы при высокой температуре окружающей среды.

Тепловые судороги – форма теплового поражения, которая наблюдается при тяжелой мышечной работе (с усиленным потоотделением) и сопровождаемой обильным питьем неподсоленной воды.

Преходящее тепловое утомление или астеническая реакция. В основе этой формы теплового поражения лежит нервно-психическое истощение. У людей, несколько месяцев живущих в помещениях с неблагоприятным микроклиматом, астеническая реакция на жару проявляется медлительностью в работе, раздражительностью при общении, быстрой утомляемостью, снижением внимания и памяти. Тепловое утомление является одним из наиболее распространенных тепловых заболеваний.

Тепловой отек. Это заболевание относится к поражениям, связанным с умеренно выраженным, но длительным нарушением водно-солевого обмена в организме. Опухание лодыжек является одной из самых частых реакций на перемену климата (умеренного на жаркий).

§ 1.6. АДАПТАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА К ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ МИКРОКЛИМАТА

1.6.1. Гигиенические аспекты адаптации

Адаптация организма к условиям обитания и работы как фундаментальная медико-биологическая проблема является особо актуальной для гигиены, изучающей влияние разнообразных факторов окружающей среды на состояние здоровья и работоспособность населения. Одним из важнейших социальных аспектов решения этой проблемы состоит в том, что приспособление людей к непривычным для них условиям жизнедеятельности не должно отрицательно отражаться на состоянии их здоровья и быть причиной потери трудоспособности в дальнейшем. Все это, в свою очередь, предполагает необходимость разработки и научного обоснования критериев адаптации к неблагоприятным факторам внешней среды, а также исследования механизмов и закономерностей адаптации организма к ним.

В гигиенической практике под адаптацией обычно понимают форму приспособления, которая возникает в необычных условиях существования организма. Очевидно, включение в адаптацию всех проявлений жизнедеятельности организма является неравномерным, так как проблема в этом случае теряет специфику и границы. В частности повседневные кратковременные реакции приспособления являются скорее реакциями регуляции функцией организма, чем адаптацией. Адаптация происходит тогда, когда регуляции недостаточна или она имеет слишком большую физиологическую стоимость. Гигиенические аспекты адаптации организма к микроклимату наиболее полно изложены в работе [15].

Коротко остановимся на чисто теоретических (научных) подходах к проблеме адаптации. Установлено, что сразу же после воздействия чрезвычайных факторов запускается неспецифический механизм адаптации. Особое место в развитии процесса адаптации отводится эндокринной системе. Избегая использования специальной терминологии физиологов при анализе роли различных систем в развитии процесса адаптации, отметим, что роль гормонов состоит во влиянии на энергетику клетки путем изменения проницаемости мембран, активности ферментов. Именно это свойство и делает необходимым повышенную выработку гормонов в изменившихся условиях существования организма при действии чрезвычайных раздражителей. Значение веду-

щего звена при этом сохраняется за нервной системой, поскольку она не только осуществляет роль пускового механизма, но и непрерывно регулирует функциональное состояние всех органов, в том числе и эндокринных, приспособляя их потенциал и работу к требованиям момента.

Неспецифический механизм адаптации обеспечивает быстрое развитие приспособительной реакции. Однако такая реакция организма менее целесообразна в силу ее универсальности и менее направлена на ликвидацию последствия патогенного агента, так как не требует расшифровки характера вредного воздействия. Поэтому при длительном воздействии новых для организма факторов происходит ослабление неспецифических процессов адаптации, замена их по преимуществу специфическими, которые являются более точными, требуют меньших затрат энергии, и в их осуществлении принимает участие меньшее число систем и органов. Запуск неспецифических и специфических приспособительных процессов взаимосвязан и взаимообусловлен.

В адаптационных изменениях организма принято выделять два процесса: актуализацию – усиление функции и лабилизацию – включение других функциональных систем и структур в процесс поддержания необходимого равновесия между организмом и средой. Процесс актуализации функций организма при его адаптации к тем или иным условиям среды имеет в своей основе напряжение регуляторных механизмов, оценка которого для гигиенических исследований имеет первостепенное значение. Под истинной физиологической адаптацией понимают приспособительные реакции, при которых не развиваются патологические процессы. Определяющим для процесса адаптации является возможность системы или организма в целом возвращаться к исходному состоянию после прекращения воздействия, т.е. обратимость изменения функции. Эти соображения не позволяют включать в процесс истинной физиологической адаптации лабилизацию функций организма.

Не менее сложным в гигиене являются представления о том, как понимать адаптацию организма в аспекте приобретения им новых, полезных свойств, необходимых для существования в изменившихся условиях среды. Известно, что аборигены Севера имеют существенно сниженный общий иммунологический фон, уменьшенное содержание аскорбиновой кислоты в крови и другие константы, отличающиеся от аналогичных показателей у людей, проживающих в благоприятных климатических условиях. В то же время можно считать, что организм этих людей полностью адаптирован к природным условиям Севера.

Изменения функции организма, возникшие на начальном этапе процесса адаптации, нестойки и довольно быстро нивелируются при возвращении к прежним условиям жизни. Целесообразно в связи с этим различать два явления: адаптацию – процесс и адаптацию – состояние. Конечным результатом любого приспособления организма как целостной системы в ответ на действие данного раздражителя является возникновения нового «стационарного» состояния, для которого характерным является его полная жизнедеятельность. Поэтому «вполне правомочно в качестве одного из основных гигиенических критериев адаптации считать необходимость появления такого уровня регуляции функций организма, который обеспечивает его полноценную жизнедеятельность, т.е. функциональный оптимум» [15].

Весьма важными в теоретическом отношении являются представления о так называемой «цене адаптации». В нормальных условиях между организмом и окружающей средой устанавливаются гармонические взаимоотношения; когда они нарушают-

ся, могут возникнуть различные отклонения. «Цена» истинной адаптации определяется вынужденной перестройкой взаимоотношений различных систем, обуславливающих поддержание гомеостаза, а не возникновение патологии. «Цена» адаптации в виде болезни (срыва адаптации) имеет место только при «патологической» форме приспособления организма к условиям внешней среды.

Весьма логична постановка вопроса о значении выраженности функциональной напряженности в появлении патологических состояний при развитии процесса адаптации, т.е. когда физиологическая форма этого процесса переходит в патологическую и заканчивается ограничением возможностей функции организма. На каком-то этапе адаптации возможно отставание морфологических изменений от сдвигов в функционировании клетки, органа или системы, так как количественные изменения функции должны стимулировать качественную перестройку структуры. «Отставание активности генетического аппарата клеток от интенсивности физиологической функции может являться причиной многих хронических патологических процессов. В связи с этим можно признать, что функциональная напряженность предшествует морфологическим изменениям и критериями оценки ее выраженности определяется возможность развития процессов адаптации в том или ином направлении». В исследовательской практике чрезвычайно трудным является определение степени функциональной напряженности органов и систем и тем самым отнесение тех или иных реакций организма к проявлениям истинной адаптации или к патологическим формам течения этого процесса.

"Заканчивая краткое рассмотрение некоторых аспектов адаптации, имеющих значение для гигиенических исследований, следует еще раз указать на сложность этой проблемы. При оценке результатов воздействия факторов внешней среды на организм необходимо в процессе адаптации четко разграничивать этапы ее течения и ту или иную направленность. Только на такой основе возможно проведение работ по гигиенической оценке какого-либо неблагоприятного фактора среды» [15].

1.6.2. Адаптация к холоду

Важность изучения механизмов адаптации к холоду диктуется необходимостью освоения холодных районов земного шара, а также хорошо известным фактом уменьшения числа простудных заболеваний при адаптивном снижении чувствительности организма к действию низких температур – закаливанию.

В реакции организма на действие холода можно выделить раннюю стадию и период развития адаптации. Раннюю реакцию на холод можно рассматривать как начальный этап адаптации. Эта ранняя реакция может формироваться при температуре окружающей среды 3°C в течение 2 мин (очевидно, речь идет о человеке в состоянии покоя и легко одетом), а при 10°C – за 10 мин. Понятно, что за такой короткий период реакции организма на холод может реализоваться только на основе ранее сформированных механизмов. Важнейшая черта первого этапа адаптации состоит в том, что деятельность организма протекает на пределе его функциональных возможностей, за счет почти полной мобилизации резервов и далеко не полно обеспечивает необходимый адаптационный эффект [16]. При остром действии холода это несовершенство заключается в том, что, несмотря на полную мобилизацию терморегуляторных механизмов, человек испытывает состояние дискомфорта и оказывается неспособным осуществлять привычную деятельность.

В реальных условиях человек обладает разнообразными искусственными средствами защиты от холода (теплая одежда и жилище, утепленный транспорт, особенности пищевого рациона). Иными словами, в адаптации человека к холоду сравнительно большую роль играет поведенческий фактор. Не удивительно, что у человека признаки физиологической адаптации к холоду обнаруживаются с большим трудом.

Как правило, чаще развивается так называемый гипотермический тип адаптации, условием формирования которого является периодическое действие холода. Эта адаптация характеризуется практическим отсутствием метаболической реакции на холод и даже некоторым снижением температуры тела. При этом симпатическая активность в противоположность срочной реакции на холод не повышается, а снижается и чувствительность к холоду падает – развивается привыкание.

Вопросам адаптивных сдвигов в системе дыхания человека при длительном действии низкой температуры уделено большое внимание в работах [6,16]. На непосредственное воздействие низкотемпературного воздуха респираторная система отвечает ограничением глубины вдоха, что уменьшает поступление в легкие холодного воздуха. Из-за действия холода и резкого увеличения общей теплоотдачи организм очень скоро начинает испытывать повышенную потребность в кислороде для увеличения теплопродукции, что необходимо для сохранения нормальной температуры ядра. Очевидно, что при длительном действии холода оптимальное решение этих двух задач – защита дыхательных путей от поражения холодом и обеспечение энергетического и температурного гомеостаза – невозможно без существенных перестроек системы дыхания применительно к потребностям организма в этих условиях и, следовательно, адаптивные возможности системы дыхания во многом определяют успешность приспособления человека к холоду. В результате холодовой адаптации у человека снижаются частота дыхания и объем легочной вентиляции (уменьшаются потери влаги с дыханием), однако снабжение организма кислородом при этом не нарушается, так как повышается утилизация кислорода из вдыхаемого воздуха. Исследования показали, что температура выдыхаемого воздуха у людей, адаптированных к холоду, ниже, чем в контрольной группе, в среднем на 1,2°C, при этом с каждым литром выдыхаемого воздуха они теряют на 4,3 мг меньше влаги. Изменения динамики дыхательного цикла служит косвенным подтверждением участия дыхательного центра в адаптационных перестройках при действии холода.

Значительное повышение интенсивности окислительных процессов дает адаптированному организму возможность осуществлять ресинтез АТФ в количествах, достаточных для обеспечения жизненно важных функций и активного поведения. В то же время это обеспечивает теплопродукцию, достаточную для сохранения температурного гомеостаза. Данное явление делает излишним ряд реакций, необходимых и характерных для срочного этапа адаптации к холоду. Так, роль мышечных сокращений (дрожь) в реакциях на острое действие холода у адаптированного организма соответственно падает.

"Измерения средневзвешенной температуры кожи у людей в процессе акклиматизации к условиям Крайнего Севера свидетельствуют об адаптивной перестройке теплообмена человека в условиях холода. Установлено, что уже через три месяца пребывания на Севере СВТК при действии холода снижается на 2,4°C. Это особенно четко проявляется у людей, постоянно работающих на открытом воздухе. Особое значение для адаптации человека, работающего на холоде, имеет локальная холодовая

адаптация. Так, например, у рыбаков Севера, руки которых регулярно подвергаются охлаждению, наблюдается ослабление реакции сужения сосудов (вазоконстрикции) в ответ на воздействие холода. В результате этого температура рук на холоде оказывается более высокой, что в свою очередь обеспечивает более высокую работоспособность конечностей и уменьшает вероятность отморожений. При локальной адаптации наблюдается также более быстрая нормализация кровообращения и температуры кожи конечностей после холодовой экспозиции. Аналогичные сдвиги в вазомоторных реакциях наблюдаются и в результате закаливания холодом." [6]

Рассмотренные отдельные изменения в системе терморегуляции при длительных воздействиях холода на организм могут в некоторой степени служить критериями холодовой адаптации. Однако наиболее общими, характеризующими направленность процесса адаптации организма в целом, следует признать следующие критерии: а) приобретение способности поддерживать температуру ядра тела на нормальном уровне при экстремальном воздействии холода, б) снижение энергетической стоимости поддержания температурного гомеостаза в условиях холода.

Обобщение результатов исследований реакций на длительное воздействие холода позволило авторам работы [16] сделать следующий вывод. «Формирование системного следа и прежде всего увеличение мощности системы митохондрий и систем, транспортирующих к ним субстраты и кислород, устраняет многие неэкономные проявления раннего этапа срочной адаптации. В архитектуре системного следа, составляющего основу адаптации к холоду, можно выделить несколько неразрывно связанных между собой регуляторных звеньев. Такими звеньями являются: гиперфункция и последующая гипертрофия надпочечников и щитовидной железы; индуцированный гормонами этих желез адаптационный рост массы и мощности системы митохондрий в мышцах и бурой жировой ткани, которая гипертрофируется; наконец, увеличение массы и физиологической эффективности всех звеньев системы, ответственной за транспорт к митохондриям кислорода и субстратов окисления».

Основные стадии адаптации к холоду

Многочисленные данные об адаптации к холоду позволили выделить четыре основные стадии этого процесса.

Первая, аварийная стадия неустойчивой адаптации характеризуется выраженной стресс-реакцией, резким проявлением терморегуляторных реакций ограничения теплоотдачи, и в частности, спазмом периферических сосудов. Значительное увеличение теплопродукции происходит в этой стадии главным образом за счет разобщения окисления и фосфорилирования в митохондриях, сократительного термогенеза в форме дрожи. При этом закономерно развивается относительный дефицит богатых энергией фосфатов, необходимых осуществления функций; как следствие реализуется ограничение поведенческих реакций организма. Этот феномен может сопровождаться многочисленными повреждениями в форме повреждения лица и конечностей, ферментемией, локальными некрозами сердечной мышцы

Вторая, переходная стадия характеризуется тем, что интенсивность стресс-реакции уменьшается при избирательном сохранении таких важных для адаптации явлений, как гиперфункция симпато-адреналовой системы и щитовидной железы. Одновременно в результате активизации синтеза нуклеиновых кислот и белков начинает формироваться системный структурный след в мышцах, бурой жировой ткани, системах транспорта кислорода и субстратов окисления.

В результате начинает увеличиваться теплопродукция и ресинтез АТФ, вклад регуляторного ограничения теплоотдачи в адаптацию уменьшается, т.е. ограничивается вазоконстрикция в периферических тканях. Соответственно уменьшается степень и вероятность повреждений организма, появляются признаки восстановления его поведенческой активности.

Стадия устойчивой долговременной адаптации с большей вероятностью формируется при эволюционно детерминированном периодическом действии холода, когда влияние этого фактора своевременно лимитировано поведенческими реакциями избегания, и оказывается значительно менее вероятной при непрерывном действии холода. Проявляется она формированием выраженного системного структурного следа, т.е. гипертрофией симпато-адреналовой системы, щитовидной железы, а также системы митохондрий в мышцах, бурой жировой ткани, и системы транспорта кислорода и субстратов окисления. Это обеспечивает стационарное увеличение теплообразования, достаточное для сохранения температурного гомеостаза и обеспечения поведенческих реакций организма. В результате роль ограничения теплоотдачи и сократительного термогенеза в адаптации существенно уменьшается, повреждения могут претерпевать обратное развитие, а поведенческая активность организма восстанавливается. При этом адаптация наиболее устойчива и выражена в условиях сочетания ограниченного периодического действия холода и физической нагрузки, т.е. при таком сочетанном процессе, как периодическая двигательная активность на холоде. Помимо повышения устойчивости к острому действию холода, а также экономичности адаптивной реакции, данная стадия характеризуется явлениями положительной перекрестной адаптации, т.е. повышением резистентности к алиментарному атеросклерозу, солевой гипертонии, большей устойчивостью агрессивных реакций во внутривидовых конфликтах.

Четвертая стадия истощения и патологического доминирования системы, ответственной за адаптацию, с наибольшей вероятностью развивается при непрерывном длительном действии достаточно интенсивного холода или чрезмерно длительном и интенсивном периодическом действии этого фактора. Данная стадия может характеризоваться появлением признаков первой, аварийной стадии процесса, а также явлениями отрицательной перекрестной адаптации, т.е. потенциацией алиментарного атеросклероза, солевой гипертонии, узелкового периартериита и подробно описанной выше частичной атрофией печени, сопровождающейся снижением дезинтоксикационной функции этого органа.

Оценивая рассмотренные стадии адаптации к холоду, можно заключить, что наряду с глубоким своеобразием они обладают выраженными общими чертами, характерными для адаптации к гипоксии, физической нагрузке и другим факторам среды» [16].

Цена адаптации к холоду

Какова же цена тех изменений в организме, которые позволяют адаптироваться к воздействиям холодного воздуха? Единственно возможным путем, позволяющим ответить на этот вопрос, являются эксперименты на животных; животные (крысы) подвергаются длительному воздействию холода, а затем производятся многосторонние исследования изменений в различных системах организма. Результаты исследований позволяют оценить возможные изменения в организме человека, подвергающегося воздействию холода.

В работе [16] приведен обзор многочисленных исследований в этой области.

Приведем сначала некоторые сведения об изменениях в организме человека. Обследование зимовщиков в Антарктиде показали, что в их крови обнаружено повы-

шение более, чем на 60 % концентрации холестерина, сохранявшееся все 11 месяцев пребывания в экстремальных условиях. Эти изменения сочетались со снижением концентрации фосфолипидов, что в целом представляет собой фактор риска развития атеросклероза. У людей, мигрировавших на Север, отмечено появление сердечно-сосудистых заболеваний, нарастание изменений биохимических показателей крови и повышение проницаемости сосудов.

Испытания на животных подтвердили вывод о том, что адаптация к непрерывному, эволюционно не предусмотренному действию холода может оказаться фактором, потенцирующим развитие атеросклероза. Адаптация к холоду сопровождается таким комплексом изменений во всех звеньях транспорта кислорода, которые в принципе могут играть роль в развитии гипертонии.

«Структурная цена адаптации при непрерывном действии холода, когда выключены естественные реакции избегания этого фактора, проявляется по меньшей мере в трех формах.

1. Образование выраженного системного структурного следа адаптации в виде гипертрофии симпат-адреналовой системы, щитовидной железы и основных исполнительных структур: системы митохондрий в мышцах, бурой жировой ткани, всех звеньев транспорта кислорода.

2. Увеличение функции и массы описанной выше системы, доминирующей в процессе адаптации, сопряжено с атрофией печени и снижением ее дезинтоксикационной функции, явлениями редукции структур других систем и как следствие с явлениями отрицательной перекрестной адаптации.

3. Напряженная адаптация к холоду характеризуется тем, что формирование системного структурного следа в одних органах может сопровождаться прямыми структурными повреждениями в других органах.»

В реальных условиях человек подвергается не постоянному, а периодическому воздействию холода. Адаптация к периодическому действию холода соответствует эволюционно детерминированной программе организма. Поэтому понятно, что при неизменной принципиальной архитектуре системного структурного следа цена такой адаптации значительно меньше, чем при непрерывном действии холода, а вероятность ее положительных перекрестных эффектов больше. По данным исследователей адаптация к периодическому действию холода повышает неспецифическую резистентность (реакцию) к действию других экстремальных и повреждающих факторов, в частности гипоксии. Установлено, что периодическое охлаждение организма способствует сохранению резервов адаптации.

1.6.3. Адаптация в нагревающем микроклимате

У адаптированных к высоким внешним температурам животных не обнаружено каких-либо путей метаболизма, протекающих с низким выходом тепла (т.е. с высоким КПД). И человек и животные могут уменьшить теплопродукцию только благодаря включению поведенческих приспособительных реакций – снижению двигательной активности, уменьшению количества и изменению состава потребляемой пищи.

В развитии адаптации к высокой внешней температуре теплоотдача и теплопродукция выступают как две взаимосвязанные системы. Чем хуже развиты механизмы теплоотдачи, тем более выражена роль снижения теплопродукции, тем ниже уровень активной

жизнедеятельности. Чем лучше развиты механизмы теплоотдачи, тем уровень активной жизнедеятельности может быть выше и менее выражена роль снижения теплопродукции.

Если понимать процесс адаптации как приобретение индивидуумом способности сохранять активную жизнедеятельность в изменившихся условиях среды, то ясно, что в процессе адаптации к теплу первостепенную роль играют механизмы теплоотдачи, а поведенческие реакции, обуславливающие снижение теплопродукции, играют вспомогательную роль. Здесь необходимо отметить, что если индивидууму дать возможность использовать в основном поведенческие приспособительные реакции, то тем самым будут разгружены механизмы теплоотдачи, они не получат должного уровня тренировки и не произойдет достаточного развития системного структурного следа. В результате доминирующая функциональная система не приобретет достаточной мощности. По-видимому, этим объясняется то, что большая теплоустойчивость достигается при сочетании тепловых воздействий с физической нагрузкой, а не только действием одного теплового фактора.

Активация доминирующей функциональной системы в условиях высокой температуры связана с потерей большого количества воды, расходуемой в процессе испарительной теплоотдачи. Это ставит организм в острую зависимость от необходимости постоянного и адекватного восполнения водных потерь. В противном случае будет развиваться дегидратация, которая может привести к гибели. Для того чтобы потовые железы работали эффективно, необходимы определенные условия: увеличение функциональной нагрузки на потовые железы и развитие структурных изменений, увеличивающих их мощность.

Одной из возможностей вмешательства в процесс развития адаптации к теплу с целью ее облегчения и ускорения является выполнение дозированной физической работы в условиях действия высокой температуры. Основным результатом подобного вмешательства является увеличение количества жидкости, выделяемой для испарительного охлаждения, т.е. увеличение производительности потовых желез. Существенным, по-видимому, является при том и увеличение скорости транспорта тепла за счет увеличения скорости кровообращения.

Существует мнение, что в процессе адаптации к высокой температуре возрастает не только способность к терморегуляции, но повышается и переносимость возникшей гипертермии. На основании ряда опытов (для поддержания температуры тела на уровне 38,8°C в камере создавалась температура воздуха 40-42°C) было сделано предположение, что гипертермия играет определенную роль в развитии адаптации к высокой температуре. В понимании механизма этого явления важно иметь в виду, что при остром тепловом воздействии, сопровождающемся гипертермией, возникает тканевая гипоксия. Гипоксия – один из факторов, к которому развивается приспособление организма при действии высокой температуры.

В то же время было установлено, что продолжительность жизни в экстремальных тепловых условиях у адаптированных животных больше, а летальная температура у них ниже, чем у неадаптированных. Причиной смерти у адаптированных к жаре животных является в большей степени дегидратация, а не гипертермия. Следовательно, организм использует до конца функциональную систему, нацеленную на теплоотдачу, т.е. борется с гипертермией.

Основные стадии адаптации к высокой температуре

Анализ фактического материала об адаптации к высокой температуре позволяет выделить следующие стадии [16].

Аварийная стадия неустойчивой адаптации характеризуется выраженной стресс-реакцией, приводящей к увеличению теплопродукции, недостаточной эффективностью испарительной теплоотдачи, которая компенсируется резкой вазодилатацией кожных сосудов со значительным увеличением кожного кровотока. Для поддержания увеличенного кожного кровотока и нормального кровяного давления возрастает частота сердечных сокращений и минутный объем сердца, уменьшается кровоток во внутренних органах, повышается веномоторный тонус и увеличивается объем циркулирующей крови. Здесь наглядно демонстрируется то, что несостоятельность одного звена доминирующей функциональной системы компенсируется за счет напряженной деятельности другого его звена. В силу этого свойства в аварийной стадии адаптации к высокой температуре основная нагрузка падает на органы кровообращения. Отсюда ясно, что тяжело будут переносить эту стадию индивиды с теми или иными формами сердечно-сосудистых заболеваний.

Переходная стадия адаптации характеризуется тем, что интенсивность стресс-реакции уменьшается. В связи с этим несколько уменьшается тепловая нагрузка на организм. Одновременно в результате активации синтеза нуклеиновых кислот и белков начинает формироваться системный структурный след. Кроме того, при невозможности покинуть зону высокой температуры начинает меняться тактика поведенческих реакций – двигательное возбуждение сменяется уменьшением двигательной активности и ограничением количества потребляемой пищи. Уменьшение количества потребляемой пищи снижает функциональную нагрузку на органы пищеварения и через угнетение биосинтеза нуклеиновых кислот и белков приводит к уменьшению массы этих органов (например, печени, поджелудочной железы), и тем самым ликвидируется несоответствие между сниженным кровотоком и большой массой органа – ликвидируется возможность развития относительной тканевой гипоксии. Все это способствует уменьшению теплопродукции. Таким образом, с одной стороны, развитие системного структурного следа повышает эффективность теплоотдачи, а с другой, уменьшение стресс-реакции и поведенческие приспособительные реакции способствуют уменьшению теплопродукции. В связи с этим несколько снижается кожный кровоток, уменьшается объем сосудистого русла и объем циркулирующей крови, снижается частота сердечных сокращений – органы кровообращения постепенно разгружаются по сравнению с аварийной стадией адаптации.

Стадия устойчивой долговременной адаптации формируется в естественных условиях жизни, когда имеется возможность избежать непрерывного действия высокой температуры. Она характеризуется хорошо сформированным системным структурным следом: повышением порога чувствительности тепловых терморцепторов, укорочением латентного периода включения испарительной теплоотдачи и рабочей гипертрофией эффекторного органа испарительной теплоотдачи. Во внутренних органах происходят структурные изменения, благодаря которым периодическое перераспределение кровотока (увеличение кожного кровотока и уменьшение кровотока в спланхической области и почках) не сопровождается увеличением теплопродукции. У большинства жителей жарких стран при соблюдении ими традиционно сложившихся режимов труда, отдыха и питания поддерживается именно стадия устойчивой долговременной адаптации к высокой температуре.

Стадия истощения и патологического доминирования функциональной системы, деятельность которой направлена на поддержание температурного гомеос-

таза, чаще всего развивается при непрерывном длительном, а также чрезмерно интенсивном периодическом действии высокой температуры. Данная стадия может характеризоваться появлением признаков первой – аварийной стадии процесса, а также явлениями отрицательной перекрестной адаптации: снижением детоксикационной функции печени, снижением устойчивости к физическим нагрузкам. В связи с тратой водных ресурсов организма для испарительной теплоотдачи состояние индивида отягчается развивающейся хронической дегидратацией и потерей солей, витаминов, ферментов и т.д. Восполнение этих потерь затрудняется в связи с доминированием поведенческого звена функциональной системы, а именно угнетением аппетита и значительным уменьшением количества потребляемой пищи, что может привести к развитию белкового голодания, авитаминоза и т.д.

Таким образом, адаптация к высокой температуре при своей выраженной специфичности походит те же стадии, что и адаптация к другим факторам среды, т. е. подчиняется одним и тем же общим закономерностям.

Цена адаптации к высокой температуре

При выполнении тяжелой физической работы в условиях экстремально высоких температур человек выделяет и выпивает большое количество жидкости (свыше 10 л). Поэтому даже при низкой концентрации натрия в поте общее количество выделившегося натрия может превышать его поступление. Дефицит соли может привести к замедлению или срыву процесса адаптации. В то же время введение в организм наряду с обычной диетой дополнительного количества соли, особенно если потребление воды ограничено, может быть опасным в смысле развития гипернатриемии и интрацеллюлярной дегидратации. К факторам, которые могут привести к срыву адаптации к высокой температуре, относятся также чрезмерная физическая нагрузка, воспаление потовых желез. Чрезмерная физическая нагрузка увеличивает образование тепла и тем самым значительно повышает нагрузку на механизмы теплоотдачи. Увеличенный кровоток к коже и мышцам обеспечивается ценой значительного снижения кровотока в почках и спланхической области. Установлено, что при явлениях дегидратации почечный кровоток снижается особенно значительно (на 40 – 50 %). В армии США среди солдат, выполнявших длительные переходы в жарких условиях, наблюдались случаи острой почечной недостаточности.

Развитие адаптации с преобладанием поведенческих приспособительных реакций также имеет свои особенности. Снижение двигательной активности и уменьшение количества потребляемой пищи несомненно направлены на снижение теплопродукции. Это облегчает поддержание температурного баланса организма в условиях высокой температуры. Однако при этом в скелетных мышцах развиваются метаболические сдвиги, которые приводят к снижению выносливости индивида к физическим нагрузкам. Длительная функциональная разгрузка органов пищеварения (с соответствующими структурными изменениями) может сделать эти органы чувствительными к пищевым перегрузкам и интоксикациям. В летнюю жару учащаются тяжелые формы диспепсии, гепатиты, кишечные инфекции. Причиной такого положения могут являться не только возникновение благоприятных условий для попадания болезнетворных микробов, но и ослабление защитных свойств самого организма.

Нарушение водно-солевого баланса является уязвимым местом даже для адаптированного к жаре организма. Известны многочисленные попытки по разработке рецептов корректирующих питьевого напитка для восполнения потерь воды, электролитов, витаминов. Однако больших успехов в этом направлении не достигнуто. Не уда-

лись и попытки воздействовать на функции потовых желез путем введения искусственного альдостерона (Braun e.al., 1967).

§ 1.7. ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИКРОКЛИМАТА

Заболевания, связанные с работой в охлаждающем микроклимате
В условиях производства длительное и интенсивное воздействие холода может наряду с повышением выносливости к охлаждению вызвать ряд изменений важнейших физиологических процессов, влияющих на работоспособность и заболеваемость. К распространенным и стойким заболеваниям относятся:

- 1) сосудистые расстройства капилляров и мелких артерий;
 - 2) ангиоспастические явления, проявляющиеся побелением кожи пальцев, ослеплением или потерей кожной чувствительности;
 - 3) заболевания периферической нервной системы;
 - 4) сердечно-сосудистые заболевания;
 - 5) развитие атеросклероза и гипертонии;
 - 6) аллергические заболевания такие, как бронхиальная астма, отек Квинке.
- Сосудистые расстройства возникают в виде озноблений пальцев рук и ног и кончиков ушей. Проявляются они в виде припухлости с синеватым оттенком кожи с ощущением зуда и жжения на припухлых местах. При этом происходит и охлаждение организма в целом. Характерны рецидивы озноблений на протяжении длительного периода, вызываемые даже незначительным охлаждением.

К заболеваниям периферической нервной системы относят пояснично-крестцовый радикулит, невралгия лицевого, тройничного, седалищного и других нервов.

Кроме того, было установлено, что «увеличение функции и массы системы, доминирующей в процессе адаптации, сопряжено с атрофией печени и снижением ее детоксикационной функции.

У людей, мигрировавших на Север, отмечено появление сердечно-сосудистых заболеваний, нарастание изменений биохимических показателей крови и повышение проницаемости сосудов.

Адаптация к непрерывному действию холода может оказаться фактором, потенцирующим развитие атеросклероза. Кроме того, эта адаптация сопровождается стационарным повышением функций адренергической, гипоталамико-адренальной системы и щитовидной железы, т.е. комплексом изменений, которые в принципе могут играть роль в развитии гипертонии.

Заболевания, связанные с работой в нагревающем микроклимате
Благодаря применяемому на производстве комплексу профилактики и защиты от воздействия высоких температур такие формы нарушений состояния здоровья человека, как тепловая гипертермия (или перегрев) и судорожная болезнь встречаются довольно редко. Основное внимание при оценке вероятности приобретения той или иной «профессиональной болезни» необходимо обращать на стойкие изменения деятельности тех систем и органов, которые испытывают наибольшие нагрузки в процессе адаптации к воздействию нагревающего микроклимата, а также на те, функции которых при этом ослабевают.

Приведенный выше анализ позволяет относить к наиболее распространенным «профессиональным» заболеваниям у людей, подвергающихся в ходе трудовой деятельности воздействию нагревающего микроклимата, следующие:

- 1) заболевания сердечно-сосудистой системы;
- 2) заболевания почек, обусловленные нарушением водно-солевого обмена;
- 3) нарушения деятельности желудочно-кишечного тракта;
- 4) нарушения высшей нервной деятельности;
- 5) "питьевая болезнь», характеризующуюся хронической диспепсией, сменяющееся хроническим энтерокалитом;
- 6) стойкую альбуминурию.

Этот перечень может быть добавлен таким заболеванием, как «инфракрасная катаракта», обусловленная воздействием на орган зрения коротких инфракрасных лучей с длиной волны преимущественно около 1,5 мк. Это заболевание встречается у людей, наблюдающих за состоянием расплавленного стекла, реже – расплавленного металла.

Длительная (функциональная) разгрузка органов пищеварения (с соответствующими структурными изменениями) может сделать эти органы чувствительными к пищевым перегрузкам и интоксикациям. В летнюю жару учащаются тяжелые формы диспепсии, гепатиты, кишечные инфекции. Причиной такого положения могут являться не только возникновение благоприятных условий для попадания болезнетворных микробов, но и ослабление защитных свойств самого организма.

Дефицит соли может привести к замедлению или срыву процесса адаптации. В то же время введение в организм наряду с обычной диетой дополнительного количества соли, особенно, если потребление воды ограничено, может быть опасным в смысле развития гипернатриемии и интрацеллюлярной дегидратации

§ 1.8. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Охлаждающий микроклимат
Первой реакцией на охлаждение является возрастание теплопродукции. Начиная с некоторой критической точки температуры Ткр (для обнаженного человека Ткр= 28°С) теплообразование возрастает по мере снижения температуры воздуха (Тв). В интервале температур Тв = (10-28)°С снижение Тв на один градус обуславливает повышение теплопродукции на 10% по отношению к интенсивности основного обмена веществ, соответствующей 88 Вт.

Падение температуры поверхностных тканей и уменьшение кровотока в их сосудах приводит к повышению теплоизоляции организма, причем важнейшее значение здесь имеет перепад температур тело – среда. Величина теплоизоляции на пути теплового потока из внутренних областей тела в среду (в зависимости от кровообращения) составляет при их максимальном сужении 0,8 – 0,9 кло.

Таблица 1.8.1.
Падение температуры кожи при задержке теплопередачи

Характеристика теплового состояния	Температура ядра тела, °С	СВТК, °С	Разница между температурой туловища и конечности, °С
Сильное напряжение задержки теплоотдачи	35±0,4	29,3±1,0	5-15
Резкое охлаждение, срыв компенсации	35	28	7

«Температура тела менее 34,4°C свидетельствует о потере способности к терморегуляции».

Понижение температуры кожи и тканей кисти и стопы может достигать такой степени выраженности (до 10°C и ниже), при которой возможно нарушение тканевого дыхания и далеко идущая холодовая патология.

Очевидно, что в наиболее тяжелых условиях кондиционирующий аппарат дыхательного тракта находится при сочетанном действии гипервентиляции и низкой температуры воздуха, например при выполнении физической работы на открытом воздухе. В этих условиях теплоотдача с дыханием может превысить 100ккал/ч, что сравнимо с общей теплопродукцией

Температура выдыхаемого воздуха (при минусовой температуре внешней среды) составляет примерно 28°C (а не 37°C), что позволяет экономить на потери влаги и тепла при дыхании.

Воздействие холода увеличивает потребление кислорода в большей степени, чем вентилиацию, т.е. эффективность дыхания повышается.

Экспериментальные данные показали, что при действии холодного воздуха на человека в состоянии физиологического покоя, у одетых испытуемых теплообразование в короткие отрезки времени может возрастать в 2 – 3,5 раза по сравнению с контролем, а при выполнении мышечной работы – в 4,4 раза. Возрастание теплопродукции при мышечной работе имеет основное компенсаторное значение для сохранения теплового баланса.

Нагревающий микроклимат

Увеличение теплоотдачи путем повышения температуры и теплопроводности кожи (при усиленном кровотоке она возрастает в 3-5 раз), а также путем активной секреции пота требует дополнительных энергозатрат на работу сердечной и дыхательной мускулатуры, потовых желез и, следовательно, само по себе приводит к увеличению теплообразования в организме.

Таблица 1.8.2.

Эффекты теплоотдачи в нагревающем микроклимате

Тепловое состояние, стадии перегрева	Теплоощущения	СВТК,°С	Температура тела,°С	(Тт-Тк),°С	Влагопотери, г/ч
Комфорт	Комфортное	33,2 0,5	35,8 0,5	3 0,5	50 10
Слабое "I-т"	Тепло	34,9 0,7	36,6 0,3	1,8 0,7	60-250
Большое "II-т"	Жарко	36,0 0,6	37,2 0,3	1	250-500
Чрезмерное "III-т"	Очень жарко	36,6	37,5	равен 0	(пот стекает) 500-2000 (пот стекает)

"Стекание пота» соответствует большой и чрезмерной стадиям перегрева. Этим стадиям характерно повышение температуры ядра тела. Как показали исследо-

вания, приведенные в работе [3], процесс теплоотдачи путем потоотделения достигает своего физического предела в условиях покоя при температуре ядра тела 38,0-38,2°C. Однако сама по себе температура ядра тела не является показателем «перегрева». Этот предел обуславливается уже нарушениями системы кровообращения.

Обычно же интенсивность потоотделения при тяжелой работе в условиях нагревающего микроклимата не превышает 1 – 1,5 л/ч, но при условии неограниченной компенсации потерь влаги.

Установлена зависимость уровня выделения пота от Тт в интервале 37-38,2°C: чем выше Тт, тем потоотделение интенсивнее. При температуре Тт = 38,2°C эта зависимость нарушается: дальнейшее повышение температуры ядра тела не приводит к увеличению теплоотдачи, которая достигает своего физического предела. Когда температура ядра тела повышается до 39°C, даже тренированные люди теряют способность выполнять какую-либо работу и испытывают состояние тяжелого теплового истощения. В интервале между 38, 2 и 39,0°C состояние людей оценивается как возрастающее трудное и переносимое только в течение коротких отрезков времени.

Таким образом, нагрузка, создаваемая обезвоживанием, складывается из напряжения сердца (выражающегося в учащении пульса) и накопления тепла (выражающегося в повышении температуры ядра тела).

Величина теплоизоляции на пути теплового потока из внутренних областей тела в среду составляет 0,15ккло (1ккло = 0,155°C*м2/Вт) при максимальном расширении сосудов.

Если температура и влажность вдыхаемого воздуха превышает таковые альвеолярного, организм не только не теряет тепло, но получает его извне за счет конвективного согревания слизистой оболочки и конденсации водяных паров на ее поверхности. В экстремальных случаях это может привести к термическому поражению слизистой и развитию отека легких (Staub,1977). Если же вдыхаемый воздух имеет высокую температуру (40-45°C), но содержит незначительное количество водяных паров, температура поверхности верхних дыхательных путей за счет испарения снижается при входе до 35°C, что позволяет сохранить около 10% влаги, затраченной на кондиционирование

Легкая работа усиливает желудочную секрецию, а субмаксимальная и максимальная – задерживает ее и снижает кислотность и переваривающую способность желудочного сока. Секреция поджелудочной железы и желчевыделение уменьшаются, снижается и двигательная активность кишечника.

У человека при средней и более тяжелой работе уменьшается диурез, что связано с уменьшением почечного кровотока и возрастанием реабсорбции воды в почечных канальцах.

Закон Дастра – Мора отражает не только относительное, но и абсолютное уменьшение кровотока через внутренние органы при работе, в результате чего происходит прежде всего уменьшение сокоотделения, ухудшение и замедление пищеварительной деятельности во время выполнения интенсивной мышечной работы.

Пропорционально росту мощности работы повышается содержание в крови адреналина. При максимальной работе происходит резкое нарастание концентрации норадреналина, увеличивается в крови и количество других гормонов. Но при длительных нагрузках к концу работы их продукция угнетается.

Легкая работа усиливает желудочную секрецию, а субмаксимальная и максимальная – задерживает ее, а также снижает кислотность и переваривающую способ-

ность желудочного сока. Секретция поджелудочной железы и желчевыделение уменьшаются, снижается и двигательная активность кишечника.

У человека при средней и более тяжелой работе уменьшается диурез, что связано с уменьшением почечного кровотока и возрастанием реабсорбции воды в почечных канальцах.

ЛИТЕРАТУРА К ВВЕДЕНИЮ

1. Bedford, Th. Basic Principles of Ventilation and Heating. London, 1948.
2. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека./ Пер. с венг. В.М.Беляева; под ред. В.И. Прохорова./ -М.: Стройиздат, 1981. – 248 с., ил.
3. Кричагин В.И. Принципы объективной оценки теплового состояния организма. – В кн. Авиационная и космическая медицина (под ред. Парина В.В.).-М. 1963. с. 310-314.
4. Измеров Н.Ф. (ред.) Руководство по гигиене труда. 1987. – М.: Медицина, 368.
5. Иванов К.П. и др. Физиология терморегуляции. – Л.: Наука, 1984. –470с.
6. Бреслав И.С., Исаев Г.Г. (ред.). Физиология дыхания. 1994. – СПб.: Наука, – 680 с.
7. Ткаченко Б. И. (ред.). Физиология кровообращения: Регуляция кровообращения. Л.: Наука. 1986. 640 с.
8. Агаджанян Н.А. и др. Словарь физиологических терминов. 1987. – М., Наука, 420с.
9. Гершел Рафф. Секреты физиологии./ Пер. с англ. под общей ред. акад. Ю.В.Наточина ./ 2001. М., – Издательство БИНОМ, 448с.
10. Кандрор И.С., Демина Д.М., Ратнер Е.М. Практическая классификация теплового состояния человека в покое и при легкой работе. – В кн. Всесоюзная конференция по теплообмену и терморегуляции. Л., 1967., с.50-52.
11. Новожилов Г.Н. Оценка эффективности повышения энерготрат при тепловой адаптации. – Физиология человека, 1980, т. 6, № 6, с. 984-988.
12. Кандрор И.С., Демина Д.М., Ратнер Е.М. Физиологические принципы санитарно-климатического районирования территории СССР. М., 1974. 175 с.
13. Адольф Э. (ред.). Физиология человека в пустыне./Пер. с англ. 1952. – М., ИИЛ.
14. Руководство по Международной статистической классификации болезней, травм и причин смерти. ВОЗ. Женева, 1980, т. 1., с. 512.
15. Новожилов Г.Н., Ломов О.П. Гигиеническая оценка микроклимата. – Л.: Медицина, 1987.
16. Физиология адаптационных процессов (руководство по физиологии). – М.: Наука, 1986. – 635с.
17. Кошечев В.С. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода. М.: Медицина, 1981. 288 с.
18. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М., 1988 г.
19. Экхольм Э. Окружающая среда и здоровье человека / Пер. М. А. Богусловской; Предисл. и ред. В. А. Ковды; Послесл. Г. С. Хозина. – М.: Прогресс, 1980. – 234 с.

20. Навроцкий В.К. Гигиена труда. М.: Медицина, 1974.
21. Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика. М.: Наука, 1981.
22. Ferrus L., Commenges D., Gire I. et al. Respiratory water loss as a function of ventilatory or environmental factors // Respirat. Physiol. 1984. Vol. 56. P. 11-20/

ГЛАВА 2. ТЕПЛООБМЕН ЧЕЛОВЕКА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В организмах млекопитающих работает множество тонких и сложных механизмов, обеспечивающих постоянство внутренней среды. В некотором (достаточно широко толкуемом) смысле эти механизмы действуют по принципу отрицательной обратной связи: функции отдельных органов представляют собой совокупный результат функций отдельных клеток этих органов, а эти клеточные функции определяются действием регулирующих органов. Может сложиться впечатление, что при изучении механизмов гомеостаза невозможно отвлечься от их физиологического обеспечения и что это выводит проблему за рамки чисто физического (термодинамического) рассмотрения, хотя и не делает такое рассмотрение совершенно бессодержательным. Эта концепция, возможно и не формулируемая явно, определяет направление большинства работ гигиенистов-климатологов. Помянув кратко о балансе тепловыделения и теплопотерь, авторы таких работ затем полностью выводят это обстоятельство за рамки рассмотрения. При таком подходе единственный способ получить какие-либо внятные результаты – использовать человека как прибор для измерения характеристик микроклимата. Объективизация результатов достигается с помощью набора статистики ответов на вопрос о самочувствии и последующего поиска корреляции этой статистики с более-менее произвольным набором параметров, определяющих микроклимат.

На этом пути открывается практически неограниченный простор для введения различного рода «эффективных», «действующих», «ощущаемых» и пр. параметров, конструирования приборов для измерения этих химерических величин и интерпретации результатов в терминах, никак не определенных и нигде более не употребляющихся. Отсюда же различного рода номограммы, эмпирические зависимости и пр., предназначенные для определения совокупного действия множества термодинамических параметров микроклимата. За всем этим ворохом искусственных построений обычно терялся простой и ясный смысл исходных уравнений теплового баланса, а нововведенным умозрительным параметрам придавался настолько серьезный смысл, что для их измерения вводились специальные единицы и создавались специальные приборы. Хороший обзор таких умопостроений в области расчета комфортных параметров микроклимата, которыми изобилуют работы гигиенистов-климатологов первой половины прошлого столетия, и столь же поучительные примеры тупикового развития науки в этих направлениях, приведены в книге [1]. Одним из немногих исключений из этого направления являются работы П.О.Фангера [2], [3]. В отличие от коллег, при разработке метода оценки комфортности микроклимата помещений, П.О.Фангер использовал только термодинамически определенные параметры. Это позволило ему предложить термодинамически оправданную методику оценки, которая положена в настоящее время в основу международного стандарта ISO 7730 [4], [5].

Развиваемая ниже концепция может быть сделана наглядной с помощью блок-схемы (см.рис.2.0.1) процессов теплообмена организма с окружающей средой, как она представляется авторам.

Здесь все, что относится к организму, заключено в левый прямоугольник. Это биологические процессы различного уровня (все, однако, невообразимо сложные), управляемые биологическими законами. Все, что относится к внешнему миру, сосредоточено в правом прямоугольнике. То, что нас интересует, метеопараметры окружающей среды, является следствием комплекса не менее сложных процессов: климатических, погодных, антропогенных и пр. Однако, на границе между этими двумя системами действуют вполне обозримые процессы теплообмена, достаточно хорошо понятые и описанные в различных разделах науки (термодинамика, молекулярная физика и т.п.) и техники (различные типы теплообмена, испарение влаги и пр.). Эти процессы можно описывать, измерять и анализировать, отвлекаясь от сложности процессов, идущих «по соседству». Как будет показано ниже, это не совершенно пустое занятие, на этом пути оказывается возможным подметить некоторые факты, ускользавшие ранее из поля зрения исследователей.

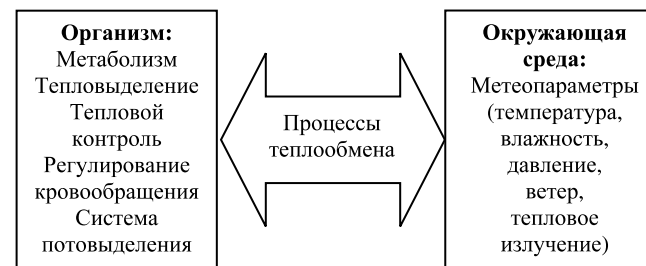


Рисунок 2.0.1

Последовательно придерживаясь этой точки зрения, можно полагать, что сколь бы сложными не были бы процессы в организме и в окружающей среде, их вклад в теплообмен на границе организм – окружающая среда может быть описан только в тех терминах, которые описывают сами процессы теплообмена. Здесь не должно появляться никаких «эффективных», «действующих», «ощущаемых» и пр. параметров, кроме тех, которые могут быть выражены через рутинные термодинамические переменные, но если это можно сделать, нужда во введении дополнительных переменных отпадает сама собой. Никакого самостоятельного значения они не имеют и могут появляться только как вспомогательные переменные, упрощающие запись и анализ термодинамических соотношений.

Начнем реализовывать эту программу с обозрения достаточно ясных принципов термодинамики, которые лежат в основе работы механизмов терморегуляции организма, находящегося под влиянием факторов микроклимата помещений.

§ 2.1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА (ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ)

Обычно многие термодинамические понятия такие как температура, давление, влажность употребляются без строгого определения, в надежде, что достаточно интуитивных представлений. Однако, в процессе построения теории – ее аксиоматизации,

развития методологии, практике работы – появляется потребность в более строгих определениях различных величин, связей между ними, описаниях методов измерения, а также введения других, не столь наглядных, величин, которыми оперирует физическая термодинамика [6], [7]. Стоит отметить, что детали здания этой науки столь плотно подогнаны друг к другу, что адекватное определение, например, температуры, охватывает другие понятия и величины, которые в свою очередь выражаются через температуру. Поэтому нужное определение формируется постепенно и поэтапно.

2.1.1. Температура

Первым шагом к определению температуры может быть, например, обращение к нашему естественному восприятию тепла и холода как чего-то одномерного, позволяющего расположить предметы в однозначной последовательности от самого холодного до самого теплого. Не столь просто оказалось ввести меру (т.е. количественные характеристики) для этих первоначальных представлений. «Чем нужно измерять температуру?» Почему такой «простой» вопрос вообще может возникать?

Имеет смысл сопоставить этот вопрос с аналогичным: «В каких единицах измеряется длина?» Ответ известен: «В метрах». Эти два вопроса совершенно сходны, но ответы на них принципиально различны. Если слить в подходящий сосуд несколько стаканов холодной воды, то сосуд будет заполнен водой. Сумма объемов воды в стаканах будет равна объему воды в сосуде. Но сколько бы холодной воды ни вливать в сосуд, горячей воды при этом не получится. Рассуждение это не наивно, и факт этот вовсе не очевиден сам собой. Это очень важный закон природы кажущийся очевидным только потому, что привычен. Из нескольких коротких палок можно составить одну длинную, соединив их между собой встык. Но нельзя сложить температуру раскаленного угля из печи и температуру куска льда. Раскаленный уголь от этого не станет более горячим.

Измерять температуру, подобно тому, как измеряют длину, объем, массу, нельзя потому, что температуры не складываются. Невозможна такая единица температуры, которой можно непосредственно измерять любую температуру, подобно тому как метром измеряют любую длину. Объем, длина, масса – примеры экстенсивных (количественных) свойств системы. Если железный стержень разделить на несколько частей, температура каждой из них от этого не изменится. Температура – пример интенсивных (качественных) свойств системы. Однако, измерять температуру необходимо. Для этого можно использовать объективную связь между температурой и любой экстенсивной величиной: изменением объема, длины, электрического сопротивления и т. п.

Это обстоятельство позволяет создать и произвольно отградуировать какой-то один термометр и дальше принимать его за «основной». В 1742 году Андерс Цельсий, шведский астроном, предложил стандартную шкалу для измерений температуры. Эта шкала, получившая его имя, состоит из 100 градусов. Каждое деление представляет собой одну сотую разности между точками кипения и замерзания воды. При обычной градуировке по Цельсию, 0° устанавливается при температуре таяющего льда, 100° – при температуре кипящей воды, всю шкалу делят сообразно расширению ртути в этом промежутке.

Температурные шкалы, предложенные Даниэлем Фаренгейтом в 1724 году и Реомюром в 1730 году, применяют в настоящее время в США, Великобритании и некоторых других странах. Физик, Уильям Томсон (лорд Кельвин), в 1848 году пред-

ложил новую шкалу. На ней за нуль ("абсолютный нуль") принята точка -273°C . Эта шкала стала основой для международной шкалы температур системы СИ – она, если и не более удобная, то, по крайней мере, наиболее используемая.

Единица температуры в системе СИ – Кельвин. Такую термодинамическую температурную шкалу установила в 1954 году X Генеральная конференция по мерам и весам. Сама величина Кельвина принята равной градусу Цельсия ($1\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$), но начало шкалы перенесено в точку абсолютного нуля температуры (-272.16°C). Хотя шкала Цельсия объявлена внесистемной, простота пересчета в градусы Кельвина позволяет пользоваться ей как дополнительной. Переход к шкале Кельвина естественен – наличие в природе абсолютного нуля температур должно быть отражено и в шкале измерения. Сама же величина единицы измерения может быть выбрана произвольно. Цельсий выбрал 1/100 разности температур кипения и отвердевания воды при нормальных условиях. Эту же единицу, которой пользуется большинство населения Земли и оставили, хотя для большей точности определили шкалу через абсолютный ноль и тройную точку воды – сочетание температуры и давления, при которых вода, лед и пар становятся неразличимы (точка соединения трех фаз). Эта температура принята за 272.16°C – точное значение (тройная точка соответствует давлению 609 Па). Теперь, правда вода кипит при $99,975^{\circ}\text{C}$, что несущественно для большинства термометров.

$$T[\text{K}] = T[^{\circ}\text{C}] + 272.1494$$

$$T[^{\circ}\text{C}] = T[\text{K}] - 272.1494$$

В США все еще пользуются шкалой, предложенной Фаренгейтом. Фаренгейт тоже (хотя «тоже» говорить неправильно – сделал это он до Цельсия) взял за основу шкалы температуры отвердевания и кипения воды, но интервал разделил на 180 частей, а начало сдвинул на 32 деления вниз. Теперь температуре плавления льда соответствовала температура 32°F , а температуре кипения воды соответствовала температура 212°F .

$$T[\text{K}] = 5/9 (T[^{\circ}\text{F}] - 32) + 272.1494 = 5/9 T[^{\circ}\text{F}] + 255.3716$$

$$T[^{\circ}\text{C}] = 5/9 (T[^{\circ}\text{F}] - 32)$$

$$T[^{\circ}\text{F}] = 9/5 T[^{\circ}\text{C}] + 32$$

Хотя шкала Реомюра ($0^{\circ}\text{R} = 0^{\circ}\text{C}$, $100^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{R}$) уже устарела, иногда приходится иметь с ней дело. Перевод этих единиц несложен:

$$T[\text{K}] = 1.25 T[^{\circ}\text{R}] + 272.1494$$

$$T[^{\circ}\text{C}] = 1.25 T[^{\circ}\text{R}]$$

$$T[^{\circ}\text{R}] = 0.8 T[^{\circ}\text{C}]$$

На физическом смысле температуры как меры средней кинетической энергии молекул здесь останавливаться не будем, хотя этот факт позволяет измерять температуру в единицах энергии, используя постоянную Больцмана $k = 1.38066 \cdot 10^{-23} [\text{Дж/К}]$ по формуле:

$$T[\text{Дж}] = 3/2 k T[\text{K}]$$

Используя соответствие температуры и кинетической энергии частиц, можно говорить даже о температуре одиночной частицы. Это имеет смысл, если такие частицы приобретают энергию в некотором стохастическом (случайном) процессе и мы хотим применить методы термодинамики.

2.1.2. Теплота

Для измерения температуры произвольного тела, термометр приводится в «тепловой контакт» с этим телом и предоставляется возможность термометру «приобрести

температуру тела». Полезно подробнее пояснить смысл двух, взятых в кавычки, понятий. Тела находятся в тепловом контакте, когда температура одного из них влияет на температуру другого. Бытовой здравый смысл подсказывает, что находящиеся в тепловом контакте тела стремятся приобрести одинаковую температуру: холодное тело нагревается, а теплое – охлаждается. Когда равновесие достигнуто, термометр покажет температуру, являющуюся неким средним из исходных температур тела и термометра.

Так выглядит педантичная формулировка того, что обычно делается бессознательно при измерении температуры.

Это простой, но достаточно общий пример самопроизвольного процесса установления термодинамического равновесия. Когда большое тело приводится в тепловой контакт с меньшим, равновесная температура этих двух тел ближе к исходной температуре большого тела. Иными словами, помимо температуры, тела обладают еще способностью накапливать нечто, что принято называть теплотой. Для первых исследователей тепловых явлений было вполне естественно думать о теплоте как о какой-то жидкости, перетекающей из одного тела в другое. Теория теплорода почти два века господствовала в науке. Она проста и наглядна. Но она ошибочна.

Внедрение в физику, в качестве основополагающих, представлений о различных видах энергии привело к взглядам на теплоту как на особый вид энергии, наряду с потенциальной, кинетической, электрической и т.п. Вскоре, однако, обнаружилось, что теплоту так трактовать нельзя – она не сохраняется при многих термодинамических процессах. Действительно, тепловая энергия тела определяется кинетической энергией движения его молекул. Не следует, однако, смешивать теплоту с тепловой энергией тела. Теплота (это очень важно) далеко не равна тепловой энергии. И еще более важно, что теплота вообще не содержится в теле. Встречающееся в некоторых работах, даже современных авторов, понятие «теплосодержание» бессмысленно.

Нетрудно подсчитать количество кинетической энергии хаотического теплового движения в системе, состоящей из молекул перегретого водяного пара, – это и будет его тепловая энергия. Но количество теплоты, которое может выделиться из этой системы при ее охлаждении, совсем не равно тепловой энергии: сначала охладится пар, потом он начнет конденсироваться в жидкую воду, затем охладится вода и, наконец, вода замерзнет. Теплота же испарения воды и теплота плавления льда очень велики. От перегретого пара, таким образом, можно получить гораздо больше теплоты, чем в нем содержится тепловой энергии.

Сейчас понятием «теплота» обозначают особый вид перехода энергии из одного вещества в другое. Этот переход обусловлен только разностью температур: когда оба вещества находятся в тепловом контакте, передача энергии от одного к другому через границу раздела веществ осуществляется за счет теплоотдачи.

2.1.3. Другие понятия

После подробного обсуждения этих основных понятий термодинамики (температура и теплота), поясним конспективно содержание других терминов, использующихся при анализе термодинамических явлений [8]:

Термодинамика – наука о взаимопревращениях работы и энергии и явлениях, сопровождающих эти превращения.

Количество теплоты – энергия, которую тело отдает или принимает при теплопередаче. Единица измерения – 1 Дж (Джоуль). Внесистемная единица измерения количества теплоты – калория, связана с Джоулем соотношением: 1 кал=4,28 Дж.

Теплоемкость тела – величина, показывающая количество теплоты, которое необходимо передать телу для его нагревания на 1°C. Единица измерения – 1 Дж/°C.

Удельная теплоемкость вещества – физическая величина, показывающая количество теплоты, которое нужно передать 1 кг этого вещества для его нагревания на 1°C. Единица измерения – 1 Дж/(кг°C). При охлаждении тела до прежней температуры выделяется такое же количество теплоты, которое было затрачено на нагревание этого тела.

Закон сохранения энергии утверждает, что при любых явлениях энергия никогда не исчезает и не возникает из ничего: она лишь переходит из одного вида в другой или от одного тела к другому. Если совершение механической работы приводит только к выделению некоторого количества теплоты, то эти величины равны друг другу. Изменение внутренней энергии тела равно сумме полученной им теплоты и совершенной над ним работы. Это утверждение называется *первым законом термодинамики*.

Теплопередача – передача тепла от одного тела к другому. Самостоятельно протекает только в таком направлении, когда температура менее нагретого тела возрастает, а температура более нагретого тела уменьшается. Это утверждение называется *вторым законом термодинамики*.

Тепловой насос – устройство, предназначенное для переноса теплоты от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой. Работа теплового насоса требует затрат внешней энергии, иначе такие процессы противоречили бы второму закону термодинамики.

2.1.4. Излучение

Перенос энергии электромагнитными волнами. Испускание телом излучения приводит к уменьшению внутренней энергии тела. При повышении температуры тела мощность его теплового излучения возрастает. Поглощение телом излучения приводит к возрастанию его внутренней энергии.

Тела, поглощающие основную часть падающего на них излучения, называются темными телами. Тела, отражающие основную часть падающего на них излучения, называются светлыми телами. Тела, способные интенсивно поглощать излучение, также интенсивно его излучают. Тело, поглощающее всю падающую на него лучистую энергию, называется абсолютно черным телом. Согласно предыдущему, оно, при прочих равных условиях, наиболее интенсивно излучает.

Испускание лучистой энергии (тепловое излучение) абсолютно черным телом описывается законом Стефана-Больцмана, который дает выражение для плотности потока интегрального (по спектру) излучения $R_{\text{чт}}$, испускаемого в пределах полусферического телесного угла.

$$R_{\text{чт}} = \sigma T^4 \quad (2.1.1)$$

Здесь, $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²/оК⁴ – постоянная Стефана-Больцмана, T – абсолютная (по шкале Кельвина) температура излучателя. Излучательные свойства реальных тел отличаются от свойств абсолютно черного тела, это учитывается с помощью специального коэффициента – степени черноты ϵ , так что поток излучения реальных тел в

ε раз меньше, чем Р_{чт}. Для некоторых материалов значения ε (определенные экспериментально) приведены в табл. 2.1.1.

Таблица 2.1.1.

Степень черноты поверхностей различных материалов.

Материал	Коэффициент ε
Алюминий (шероховатая поверхность)	0,08 – 0,07
Вольфрам	0,05 – 0,3
Платина	0,07 – 0,18
Сталь (окисленная поверхность)	0,94 – 0,97
Бумага	0,8 – 0,9
Дерево (строганная поверхность)	0,8 – 0,9
Сажа	0,53

Обращает на себя внимание небольшая степень черноты для металлов, в том числе и зачерненных сажей или лаками на ее основе.

2.1.5. Агрегатное превращение

Явление перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое называют. Различают следующие агрегатные превращения: плавление, отвердевание (кристаллизацию), парообразование (испарение, кипение, сублимацию), конденсацию. Один из видов агрегатного превращения играет важную роль в процессах теплообмена организма с окружающей средой. Остановимся на этом вопросе подробнее (см. напр. [9]).

Парообразование, происходящее с поверхности твердого тела, называется сублимацией. Парообразование, происходящее с поверхности жидкости, называется испарением. Парообразование, происходящее по всему объему жидкости вследствие возникновения и всплытия на поверхность многочисленных пузырей насыщенного пара, называется кипением. Количество теплоты, поглощенное испаряющейся жидкостью, прямо пропорционально массе образовавшегося пара. Коэффициентом пропорциональности служит удельная теплота парообразования.

Удельная теплота парообразования – физическая величина, показывающая количество теплоты, необходимое для превращения в пар 1 кг вещества при указанной температуре. Единица измерения – 1 Дж/кг.

При конденсации вещества всегда выделяется такое же количество теплоты, которое было затрачено на парообразование (при условии, что конденсация происходит при той же температуре, что и парообразование).

По молекулярно-кинетическим представлениям испарение – непрерывный процесс вылета молекул за пределы конденсированной фазы, обусловленный их тепловым движением. Условие вылета молекулы из жидкости определяется неравенством E_{кин} > L_{исп}, где E_{кин} – кинетическая энергия молекулы, L_{исп} – работа по преодолению сил межмолекулярного сцепления в жидкости. Поскольку при испарении работа совершается за счет энергии теплового движения молекул жидкости, ее температура при испарении понижается. Для ее поддержания к жидкости необходимо подводить

теплоту (внутреннюю теплоту испарения). Кроме того, при испарении затрачивается работа, связанная с увеличением объема, занимаемого веществом (внешняя теплота испарения). Полная теплота испарения j есть то количество теплоты, которое следует подвести к единице массы жидкости при равновесном изотермическом процессе, чтобы перевести ее из жидкого в газообразное состояние (пар). Для воды теплота испарения j – чрезвычайно большая величина: в нормальных условиях j≈2,5*106 Дж/кг. Чтобы представить – насколько она велика, стоит отметить, что для повышения температуры 1 кг воды на 1°С требуется 1 килокалория тепла или энергия «4,28 *103 Дж. Если теплоту испарения направить на нагревание того же количества воды, ее температура повысится на «600 оС. Таким образом, испарение – это очень мощный канал теплопотребления.

2.1.6. Влажность воздуха

Содержание в воздухе водяного пара – одна из наиболее существенных характеристик погоды и климата. Эффекты влажности воздуха имеют большое значение в энергетике, при некоторых технологических процессах, лечении ряда болезней, хранении товаров и продуктов питания и т.д. Именно потому, что в различных приложениях важны различные аспекты явления, в зависимости от области исследований, для характеристики влажности воздуха можно использовать следующие величины:

- (1) упругость (или парциальное давление) **e** водяного пара, выражается в 1 Па=1 Н/м² (в мм рт. ст. или в мб, 1 мб=100 Па=100 Н/м²);
- (2) упругость насыщения **E** – максимальная упругость водяного пара, насыщающего пространство над плоской поверхностью чистой воды, выражается в Па;
- (3) дефицит влажности **d** – разность между максимальной и фактической упругостью водяного пара при данной температуре и давлении, выражается в Па;
- (4) относительная влажность **RH** – отношение упругости e водяного пара, содержащегося в воздухе, к упругости насыщения **E** при данной температуре, выраженное в %;
- (5) абсолютная влажность **a** – количество (граммы) водяного пара в единичном объеме (м³) воздуха, выражается в г/м³;
- (6) удельная влажность **q** – количество (граммы) водяного пара на единицу массы (кг) влажного воздуха; выражается в г/кг;
- (7) отношение смеси **w**, определяемое количеством водяного пара в г на кг сухого воздуха, выражается в г/кг;
- (8) точка росы **τ** температура, которую примет воздух, если охладить его изобарически (при постоянном давлении) до состояния насыщения находящегося в нем водяного пара. Физический смысл этой величины состоит в том, что она характеризует температуру, при которой из газа начинает конденсироваться влага.

Между различными характеристиками влажности имеют место следующие соотношения:

$$a=217e/T \text{ (если } e \text{ в миллибарах); } a=289,4e/T \text{ (если } e \text{ – в мм Hg)}$$
$$\text{здесь } T \text{ – абсолютная температура (°K)}$$
$$q=622e/(p-0,378e); \quad w=622e/(p-e)$$
$$\text{здесь } p \text{ – давление воздуха, выраженное в тех же единицах, что и } e$$
$$RH=(e/E)100\% ; \quad d=E-e; \quad e=e \cdot 10^{(c-\tau)/b}$$

в последнем соотношении $\epsilon=4,58$ мм Hg= $6,1$ мб, $b=7,5$; $c=237,3$; τ – в °C

Влажность воздуха. земной атмосферы колеблется в широких пределах. Так, у земной поверхности содержание водяного пара в воздухе составляет в среднем от 0,2% по объему (в высоких широтах) до 2,5% (в тропиках). Соответственно упругость пара e в полярных широтах зимой меньше 1 мб (иногда лишь сотые доли мб) и летом ниже 5 мб; в тропиках же она возрастает до 30 мб, а иногда и больше. В субтропических пустынях величина e понижена до 5-10 мб. Относительная влажность RH очень высока в экваториальной зоне (среднегодовая до 85% и более), а также в полярных широтах и зимой внутри материков средних широт – здесь за счет низкой температуры воздуха. Летом высокой относительной влажностью характеризуются муссонные районы (Индия – 75-80%). Низкие значения RH наблюдаются в субтропических и тропических пустынях и зимой в муссонных районах (до 50% и ниже). С высотой RH , a и q быстро убывают. На высоте 1,5-2 км упругость пара в среднем вдвое меньше, чем у земной поверхности. На тропосферу (нижние 10-15 км) приходится 99% водяного пара атмосферы. В среднем над каждым м² земной поверхности в воздухе содержится около 28,5 кг водяного пара.

При стандартном давлении воздуха $p=1000$ мб (105 Па) значения упругости E водяного пара, насыщающего пространство над плоской поверхностью чистой воды, абсолютной влажности a , удельной влажности q и отношения смеси w , приведены для различных температур воздуха в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2.

Параметры влажности воздуха при различных температурах.

$t, ^\circ\text{C}$	E , мб	a , г/м ³	q , г/кг	w , г/кг
0	6,1	4,85	3,81	3,8
10	12,3	9,39	7,67	7,73
20	23,4	17,3	14,7	14,9
30	42,4	30,3	26,8	27,6
40	73,8	65,3	47,2	49,5
50	123,4	82,8	80,5	87,6

Как видно, значения a и E , а значит – и количество водяного пара в воздухе быстро растут с ростом температуры. В диапазоне температур, указанных в таблице 1, зависимость E от температуры t можно интерполировать (см. график на рис.2.2) функцией

$$E(Pa) = E_0 \cdot \exp(t/t_0) \quad (2.1.2)$$

Здесь $E_0=6,61 \cdot 10^2$ Па, $t_0=16,66^\circ\text{C}$.

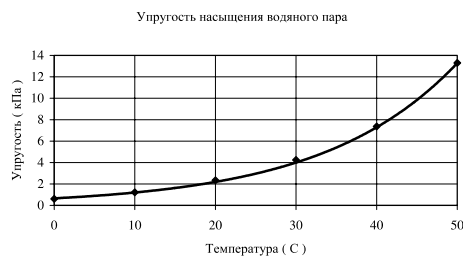


Рисунок 2.1.1.

Суточный ход упругости пара над морем и в приморских областях параллелен суточному ходу температуры воздуха: влагосодержание растет днем с возрастанием испарения. Таков же суточный ход e в центральных районах материков в холодное время года. Более сложный суточный ход с двумя максимумами – утром и вечером – наблюдается в глубине материков летом. Суточный ход относительной влажности RH обратен суточному ходу температуры: днем с возрастанием температуры и, следовательно, с ростом упругости насыщения E относительная влажность убывает. Годовой ход упругости пара параллелен годовому ходу температуры воздуха: относительная влажность меняется в годовом ходе обратно температуре.

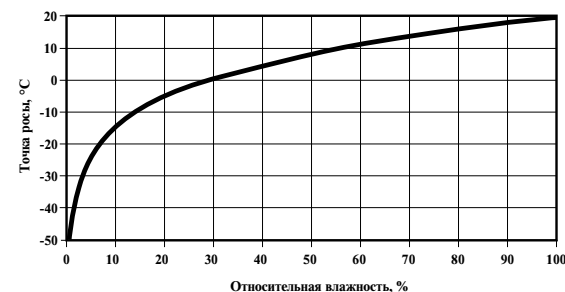


Рис. 2.1.2. Зависимость точки росы воздуха от его относительной влажности при температуре 20°C.

На рис.2.1.2 приведена зависимость точки росы воздуха от его относительной влажности при температуре 20°C. Эта зависимость иллюстрирует, с одной стороны, температуру стекол в помещении при которой начинается их запотевание, а с другой стороны, показывает, какая максимальная относительная влажность может быть в отапливаемом помещении, в которое подается наружный воздух без увлажнения. При этом предполагается, что относительная влажность наружного воздуха 100% (по воде) и в помещении не происходит влаговыделения или влагопоглощения. В таких условиях при наружной температуре воздуха -10°C и его относительной влажности 100% относительная влажность этого воздуха в отапливаемом помещении с температурой 20°C составит около 13%. Это нормальная влажность воздуха в помещениях зимой. Уже к середине зимы стены, мебель, бумага отдают накопленную в летний период влагу (а это могут быть десятки килограмм) и становятся мощными насосами, выкачивающими водяной пар из воздуха при топелениях или попытках одновременного повышения влажности в помещении путем полива, испарения или разбрызгивания воды.

§ 2.2. ПРОИЗВОДСТВО МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ТЕПЛА

2.2.1. Теплопроизводство

Анализ теплотерь организма целесообразно предварить уточнением понятий, связанных с теплопроизводством. Во многих работах по физиологии термостатирова-

ния организма не всегда внятно определяется – о каком именно тепле идет речь, это вносит известную путаницу в сопоставление и интерпретацию результатов работ различных авторов.

Активность человека можно характеризовать несколькими видами выделяемой мощности (см.напр. [10-12]):

- Скорость выделения суммарной метаболической энергии $W_{пол}$ – полное энерговыделение за счет всех источников – химических процессов и мышечной деятельности.
- Скорость выделения тепла основного (фонового) обмена веществ в организме W_o (≈ 90 Вт у взрослого человека).
- Скорость выделения дополнительного тепла $W_{доп}$, связанного с производимой работой.
- Механическая мощность, развиваемая мышцами $W_{мех}$.

Последние две величины связаны между собой коэффициентом полезного действия мышц $h = W_{мех}/W_{доп}$. Несмотря на некоторую условность введения этого коэффициента (он меняется от человека к человеку, зависит от вида механической работы, общего состояния организма и пр.), его целесообразно использовать для оценок, при этом можно считать его равным $h \approx 0,2$ (см.гл.1).

Если интересоваться только теплом $W_{теп}$, выделяемым при определенном уровне мышечной активности, его оценку можно получить из вполне очевидных соотношений

$$W_{теп} = W_o + W_{доп} - W_{мех} = W_o + (1-h) * W_{доп}; W_{доп} = W_{пол} - W_o \tag{2.2.1}$$

Для дальнейшего удобно ввести безразмерную величину ω , связанную с суммарным энерговыделением при мышечной активности:

$$\omega = W_{доп} / W_o = (W_{пол} - W_o) / W_o \tag{2.2.2}$$

Через эту величину полное тепло $W_{теп}$, выделяемым при мышечной активности, можно записать в виде

$$W_{теп} = W_{пол} - W_{мех} = h * W_o + (1-h) * W_{пол} = W_o * [1 + (1-h) * \omega] \tag{2.2.3}$$

Эту запись для полного тепловыделения будем использовать в дальнейшем.

2.2.2. Энерговыделение и легочный воздухообмен.

Подробное обсуждение процессов окисления кислорода как основы энергетики организма было проведено в гл. 1. Повторим для ссылок основные моменты этого обсуждения. Количество кислорода, потребляемого человеком, определяется интенсивностью работы. Натощак, в состоянии мышечного покоя (например – лежа) количество потребляемого кислорода является показателем обмена, необходимого для поддержания жизненно важных функций в организме – основного обмена. Основной обмен человека характеризуется потреблением кислорода в пределах 0,2 – 0,25 л/мин с энергетическим выделением примерно 70 – 85 Вт. При физической работе малой и умеренной тяжести в организме происходит окисление жиров, при работе средней тяжести и большой – углеводов. Это приводит к повышению потребления кислорода при физической работе. Потребность в кислороде тем больше, чем напряженнее работа. В определенных пределах существует линейная связь между тяжестью выполняемой работы и потреблением кислорода. Это соответствие обеспечивается усилением работы сердечно-сосудистой системы.

По потреблению кислорода и энергетическим затратам трудовые процессы можно отнести к трем типам, представленным в таблице.

Таблица.2.2.1
Потребление кислорода и энергозатраты при работах различной тяжести.

Характер работы	Потребление кислорода (л/мин)	Энергозатраты (Ватты)
Легкая	< 0,5	< 180
Средней тяжести	0,5 – 1,0	180 – 360
Тяжелая	> 1	> 360

Соответственно, количество необходимой энергии для человека в сутки выражается: при легкой работе 9 – 11 МДж (2200 – 2600 ккал), при работе средней тяжести 11 – 14 МДж (2800 – 3400 ккал), при тяжелой работе 14 – 17 МДж (3600 – 4000 ккал). Эти вариации отражаются на частоте и глубине дыхания.

В покое число дыхательных циклов колеблется от 12 до 24 в минуту, а легочная вентиляция – в пределах 4 – 10 л/мин (чаще 6 – 8 л/мин). При работе эти величины возрастают в несколько раз соответственно увеличению потребления кислорода. Потребность кислорода возрастает от 0, 2 – 0,3 л/мин в покое до 3 – 5 л/мин при тяжелой физической работе. Доставка такого большого количества кислорода обеспечивается путем значительного усиления функции легких. Легочная вентиляция может возрасти до 100 – 150 л/мин за счет учащения дыхания, но главным образом – за счет увеличения глубины вдоха. Величина легочной вентиляции растет пропорционально потреблению кислорода и, следовательно, мощности энерговыделения. Такая закономерность дает возможность гигиенистам судить о величине энерговыделения по скорости легочной вентиляции.

2.2.3. Основной параметр

Скорость легочной вентиляции Y , определяемая как произведение дыхательного объема легких $Vл$ (измеряется в литрах или м³) на частоту дыхания f (измеряется в с⁻¹). Оба эти параметра меняются с изменением активности (энерговыделения) человека.

Согласно данным, приведенным в книге [13], в покое (когда выделяется только метаболическое тепло W_o), организм взрослого человека потребляет $\approx 0,5$ л/мин кислорода, при скорости легочной вентиляции $Y_o \approx 15$ л/мин ($2,5 * 10^{-4}$ м³/с). Если суммарное энерговыделение W_{tot} составляет 240 Вт (расклад по отдельным видам энерговыделения: 90 Вт основного метаболизма, 150 Вт обусловленных мышечной работой, из них 30 Вт собственно механическая мощность, 120 Вт – теплопотери обусловленные коэффициентом полезного действия), то скорость вентиляции легких возрастает в 6 раз – до 90 л/мин ($1,5 * 10^{-3}$ м³/с). Интересно отметить, что потребление кислорода возрастает всего в 4 раза (до 2 л/мин), что свидетельствует о включении в процесс выработки энергии анаэробных реакций.

В цитированной книге [13] приведены экспериментальные графики зависимости Y от скорости выделения тепла, связанного с производимой работой $W_{доп}$. Данные (точки) изображены на рис.2.2.1. Отметим, что при выбранной величине аргумента анаэробный порог приходится на значение $W_{доп} \approx 105$ Вт ($W_{пол} \approx 200$ Вт).



Рисунок 2.2.1.

На этом же рисунке проведена интерполирующая кривая

$$Y = Y_0 * \gamma(\omega); \quad \gamma(\omega) = 1 + \omega/2 + \omega^2 \quad (2.2.4)$$

($Y_0 = 2,5 \cdot 10^{-4}$ м³/с, переменная ω определена выше), которая, как видно, неплохо описывает экспериментальные результаты.

Эти результаты по скорости вентиляции легких будут использованы в дальнейшем при оценках теплообмена человека с окружающей средой в процессе дыхания.

§2.3. КАНАЛЫ ТЕПЛООБМЕНА ЧЕЛОВЕКА С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

Существует несколько механизмов отдачи метаболического тепла в окружающую среду (см. напр. [10]), причем организм включает их в различных комбинациях, в зависимости от ситуации: интенсивности работы, параметров внешней среды, степени теплоизолированности тела и пр. Ниже они будут рассмотрены по отдельности, их совокупное действие будет рассмотрено при анализе результирующих теплоощущений человека. Для того, чтобы отличать производство метаболического тепла от его потерь при теплообмене с окружающей средой, ниже поток энергии будет обозначаться буквой J , чтобы отличить его от теплпроизводства W , имеющего ту же размерность.

2.3.1. Кондуктивный теплообмен кожа-воздух

Под кондуктивным теплообменом понимается теплопередача на границе двух контактирующих сред [14]. Для количественного описания явления И. Ньютоном была предложена простая закономерность: мощность теплообмена между двумя телами тем больше, чем сильнее отличаются их температуры. Эта мощность характеризуется коэффициентом теплообмена α , так что результирующий тепловой поток $J_{конд}$ через поверхность теплообмена площадью S , определяется разностью температур $t_1 - t_2$ по формуле

$$J_{конд} = \alpha S (t_1 - t_2) \quad (2.3.1)$$

В простейшем, интересующем нас, случае кондуктивный теплообмен происходит на границе кожа – воздух. Температуры $t_1 = t_{к}$ и $t_2 = t_{в}$ соответствуют температуре кожи и воздуха. Коэффициент теплообмена α между твердым телом и воздухом зависит от структуры поверхности. Для кожи величина α равна «4,1 Вт/м²/°С [14]. Молекулярно-кинетическая теория газов и жидкостей позволяет строго обосновать границы применимости линейного закона теплообмена: соотношение (2.3.1) справедливо в условиях

когда относительное изменение температуры на расстоянии средней длины свободного пробега молекулы в воздухе мало по сравнению с единицей. При нормальных условиях (температура комнатная, давление атмосферное) длина пробега молекулы в воздухе « 10^{-7} м, следовательно, отклонения от закона (2.3.1) пренебрежимо малы.

Несколько сложнее выглядит выражение для теплового потока $J_{конд}$ в том случае, когда кожа от воздуха отделена слоем ткани (одеждой). Геометрия задачи приведена на рис.2.3.1.

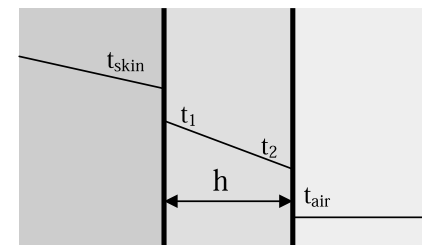


Рисунок 2.3.1.

Левое полупространство – тело человека с температурой поверхности (кожи) $t_{к}$, правое – воздух с температурой $t_{в}$, между ними слой одежды толщиной h и теплопроводностью r .

Поток тепла J от кожи в воздух можно определить несколькими способами:

- на границе кожа-одежда $J = \alpha_1 S (t_{к} - t_1)$;
- через одежду $J = -S r (dt/dx)$ (здесь r – коэффициент теплопроводности одежды)
- на границе одежда – воздух $J = \alpha_2 S (t_2 - t_{в})$.

Все это один и тот же поток, так как в стационарном случае накопления тепла нигде не происходит. В частности, сохранение градиента тепла при переходе от внутренней границы одежды к внешней дает возможность заменить градиент разностью $dt/dx = (t_1 - t_2)/h$. Приравнявая различные выражения для потока, можно исключить неизвестные температуры t_1 и t_2 . Получим:

$$J_{конд} = \alpha_{eff} S (t_{к} - t_{в}); \quad \alpha_{eff} = \alpha_1 \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_1 \alpha_2 R_{од}); \quad R_{од} = h/r \quad (2.3.2)$$

Здесь $R_{од}$ – термическое сопротивление одежды. Видно, что соотношение (2.3.2) имеет ту же структуру, что и закон Ньютона (2.3.1), однако, с эффективным значением коэффициента теплоотдачи.

Из выражения (2.3.2) можно сделать важный вывод: поток тепла через сложные структуры зависит только от температур на внешних границах, т.е. ни температура внутренней поверхности одежды, ни внешней в определение потока не входит – только температура кожи и воздуха. Это справедливо и для случая многослойной одежды.

Соотношению (2.3.2) можно придать другой, более удобный для последующего анализа, вид. Если обозначить обратную величину коэффициентов теплообмена на границах кожа-одежда и одежда-воздух через «сопротивления перехода» $R_1 = 1/\alpha_1$ и $R_2 = 1/\alpha_2$, то вместо (2.3.2) можно записать

$$J_{конд} = S (t_{к} - t_{в}) / R_{\Sigma}; \quad (2.3.3)$$

Здесь через $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_{од}$ обозначено суммарное сопротивление теплоотдачи через одежду. При увеличении слоев одежды, соответственно увеличится количество слагаемых в определении суммарного сопротивления.

Термическое сопротивление различных тканей измеряется в единицах Кло (Кло=0,155 м²°С/Вт). В зависимости от состава ткани, ее толщины, качества плетения и пр., ее термическое сопротивление меняется от десятых долей до единиц Кло.

При анализе теплообмена в системе человек – атмосферный воздух следует, вообще говоря, учитывать различную степень «закрытости» (теплоизолированности) различных участков человеческого тела. Если использовать соотношение (2.3.2) для анализа теплового баланса всего организма, величину произведения $\alpha_{\text{эф}}S$ следует заменить суммой $\Sigma \alpha_{\text{эф}}S$ по участкам тела с различной степенью теплоизолированности. Эту сугубо техническую подробность описания параметров, влияющих на теплопотери с поверхности тела, можно обойти, если под S понимать площадь поверхности тела, указанным образом усредненную по различным участкам. В зависимости от количества и качества одежды, величина S может изменяться в пределах от 0 (полностью теплоизолированный от внешней среды человек) до «2 м² (полностью обнаженный взрослый человек).

Важным параметром, влияющим на величину коэффициента теплоотдачи α , является скорость обмена воздуха, примыкающего к коже. Обычно этот обмен связан с обдувом тела. Величина α , таким образом, является функцией скорости воздуха V . Различные авторы приводят разные эмпирические зависимости $\alpha=\alpha(V)$ (см. напр. [14]).

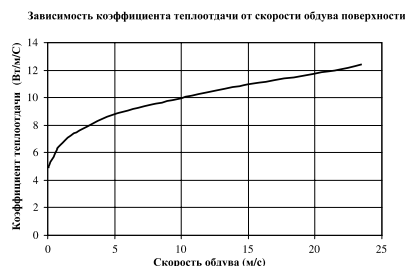


Рисунок 2.3.2.

Наши собственные исследования (см.рис.2.3.2) подтверждают результаты [14], согласно которым α меняется по закону

$$(2.3.4)$$

Здесь характерный масштаб скорости $V_0=10$ м/с.

Следует заметить, что эффект обдува незначителен при тех скоростях, которые допускаются в помещениях. При небольших скоростях обдува (до единиц м/с) коэффициент теплообмена меняется не более чем на 20%. Это заметные изменения, но, как правило, они не меняют ситуацию кардинально. Эффекты обдува более значительны для явлений, связанных с испарением пота (см.ниже).

2.3.2. Теплообмен излучением

Это процесс переноса энергии, обусловленный превращением части внутренней энергии вещества в энергию излучения и его поглощением веществом (обратным превращением энергии электромагнитных волн во внутреннюю энергию).

Тело человека (во всяком случае – его открытые участки) обычно нагревается внешней радиацией и одновременно само излучает тепло. Каждый из этих процессов описывается соотношением (2.3.1) с присущей ему температурой, а суммарный эффект (поток тепла $J_{\text{изл}}$ с поверхности тела во внешнюю среду) может быть записан в виде:

$$J_{\text{изл}} = S \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot \{ (T_K)^4 - (T_{\text{рад}})^4 \} \quad (2.3.5)$$

Здесь $T_{\text{рад}}$ и T_K – абсолютные (по шкале Кельвина) температуры ограждений (стен, панелей и пр.) и поверхности (кожи) тела человека соответственно. Первую из них можно называть радиационной температурой среды. По степени черноты человеческая кожа близка к бумаге и дереву ($\epsilon \approx 0,8$, см. табл. 2.1.1).

Для дальнейшего целесообразно несколько упростить выражение (2.3.5) для $J_{\text{изл}}$. Заметим, прежде всего, что в большинстве случаев абсолютные температуры кожи и нагретых ограждений не сильно отличаются друг от друга. Например, если $t_{\text{огр}}=50^\circ\text{C}$, то отличия $T_{\text{рад}}$ от T_K составляют «4%». Для мало отличающихся величин разницу четвертых степеней температур можно заменить разницей самих температур

$$(T_K)^4 - (T_{\text{рад}})^4 \approx 4 \cdot (T_K)^3 \cdot (T_K - T_{\text{рад}}) = 4 \cdot (T_K)^3 \cdot (t_K - t_{\text{рад}}) \quad (2.3.6)$$

В последнем соотношении разность абсолютных температур заменена на равную ей разность температур Цельсия. Принимая, для оценок $\epsilon \approx 0,8$, можно записать выражение (2.3.5) для $J_{\text{изл}}$ в виде, аналогичном (2.3.1):

$$J_{\text{изл}} = S \cdot \beta \cdot (t_K - t_{\text{рад}}) \quad (2.3.7)$$

Здесь величина $\beta \approx 5,3$ Вт/м²/°К. Видно, что эффективный коэффициент лучистого теплообмена близок к коэффициенту конвективного теплообмена. Близки и величины самих тепловых потоков, так как температуры нагретых ограждений обычно близки к температуре воздуха. Исключение составляют ситуации на т.н. «горячих производствах», где присутствует расплавленный металл, раскаленные стенки печей и пр., однако там несправедлив и переход (2.3.6) от соотношения (2.3.5) к приближенному выражению (2.3.7).

Существует некоторая специфика, обусловленная различием свойств одежды по теплопроводности и по взаимодействию с излучением. Поэтому учет одежды при подсчете теплообмена излучением должен происходить несколько иначе, чем в случае кондуктивного теплообмена, однако детальное обсуждение этого вопроса может увести изложение далеко в сторону. Принципиальным является следующее: для теплообмена излучением справедлив переход, аналогичный переходу от соотношения (2.3.1) к (2.3.3), но, разумеется, со своими эффективными коэффициентами теплоотдачи и термосопротивлениями одежды. Аналогично выглядит и результат:

$$J_{\text{изл}} = S \cdot (t_K - t_{\text{рад}}) / R_{\text{изл}} \quad (2.3.8)$$

Здесь $R_{\text{изл}}$ – суммарное термосопротивление одежды по отношению к радиационному теплообмену S – усредненная (по участкам с различной степенью закрытости) площадь поверхности тела.

Если, для упрощения последующего изложения принять предположение о близости радиационной температуры $t_{\text{рад}}$ к температуре воздуха t_B , то потоки тепла по каналам кондуктивного и радиационного теплообмена можно объединить

$$J_{\text{ик}} = J_{\text{изл}} + J_{\text{конд}} = (S/R) \cdot (t_K - t_B) \quad (2.3.9)$$

Здесь $1/R = 1/R_{\text{изл}} + 1/R_{\Sigma}$ – эффективное сопротивление теплопередачи по обоим каналам. Определение реального значения параметра теплоизолированности тела $(S/R)_{\text{эфф}}$ представляет собой вполне самостоятельную проблему, детализация кото-

рой может явиться предметом отдельных работ. Для последующего вполне достаточным будет ограничиться замечанием – в зависимости от степени закрытости тела одеждой и от ее качества, величина теплоизолированности тела $(S/R)_{\text{эфф}}$ реально может меняться от 0 (полностью теплоизолированный человек – напр. в меховом комбинезоне, рукавицах и маске на лице) до «20 Вт/°С (полностью обнаженный)». Указанный диапазон включает все мыслимые возможности теплоизоляции тела человека.

2.3.3. Теплообмен при выделении и испарении пота

Испарение возможно при всех температурах сосуществования конденсированной и газовой фаз, однако число молекул, для которых выполняется неравенство $E_{\text{кин}} > L_{\text{исп}}$, увеличивается с ростом температуры, соответственно растет интенсивность испарения $g_{\text{исп}}$ (количество жидкости, превращающееся в газ в единицу времени через единицу поверхности границы раздела жидкость-газ). Реально одновременно с испарением происходит конденсация пара на поверхности жидкости. Скорость последнего процесса определяется плотностью (или парциальным давлением) пара над поверхностью жидкости. Совокупное действие всех этих процессов определяет результирующую скорость испарения воды через плоскую поверхность раздела ее с воздухом формулой [15]

$$g_{\text{исп}} = v \cdot (P_{\text{нас}} - P_{\text{пар}}) / P \quad (2.3.10)$$

Здесь $n = 8,3 \cdot 10^{-3}$ кг/с/м² – коэффициент, P – давление воздуха, $P_{\text{нас}}$ – парциальное давление водяных паров в состоянии насыщения при температуре воды $t_{\text{вод}}$, $P_{\text{пар}}$ – парциальное давление водяного пара в воздухе в зависимости от его влагосодержания. Аналогичное выражение (с несколько меньшим коэффициентом v) предлагается в американском справочнике [16].

Более серьезные различия начинаются при учете эффектов обдува поверхности воды ветром со скоростью V . В [15] предлагается вводить в (2.3.10) дополнительный множитель вида $(1 + \sqrt{V/V_0})$, где характерный масштаб скорости обдува V_0 составляет величину «0,25 м/с. В справочнике [16] приводится рекомендуемая форма дополнительного множителя вида $(1 + V/V_0)$, где характерный масштаб скорости обдува V_0 составляет величину «1,3 м/с. Качественные результаты, определяемые по обеим формулам, одинаковы – скорость испарения растет при увеличении скорости обдува поверхности.

Представляет интерес возможность выразить скорость испарения вводу (2.3.10) через непосредственно измеряемые величины – температуру воды и воздуха и относительную влажность воздуха над поверхностью воды. Это можно сделать, если использовать соотношения, приведенные в §2.1 (п.2.1.6).

Обратимся для этого к определениям максимальной упругости E водяного пара (упругости насыщения) при данной температуре t , и относительной влажности RH . Это позволяет записать давления в формуле (2.3.10) в виде:

$$P_{\text{нас}} = E(t_{\text{вод}}); P_{\text{пар}} = RH \cdot E(t_{\text{в}}) \quad (2.3.11)$$

где, как и выше, через $t_{\text{в}}$ обозначена температура воздуха.

Используя интерполяционную формулу (2.1.2), разность $P_{\text{нас}} - P_{\text{пар}}$ можно записать в виде

$$P_{\text{нас}} - P_{\text{пар}} = E(t_{\text{вод}}) \cdot \{1 - RH \cdot \exp[(t_{\text{в}} - t_{\text{вод}})/t_0]\} \quad (2.3.12)$$

В дальнейшем предполагается использовать соотношение (2.3.10) и интерполяционную формулу (2.3.12) для разности давлений при оценках скорости испарения пота с кожи человека. В этом случае следует полагать, что вода имеет температуру кожи $t_{\text{вод}} = t_{\text{к}}$, при оценках последнюю можно принять равной «34°С. Используя интерполирующую формулу (2.1.2) можно оценить $E(t_{\text{вод}})$ величиной 5,1 кПа. Принимая в (2.3.10) давление воздуха $P = 100$ кПа, получим формулу для оценки скорости испарения пота

$$g_{\text{исп}} = v_1 \cdot \{1 - RH \cdot \exp[(t_{\text{в}} - t_{\text{к}})/t_0]\}, \quad (2.3.13)$$

где $v_1 = 4,2 \cdot 10^{-4}$ кг/с/м². Если умножить скорость испарения (2.3.13) на величину удельной теплоты испарения $j \approx 2,5 \cdot 10^6$ Дж/кг, получим выражение для скорости теплотопотерь при испарении

$$J_{\text{кож.исп}} = K_{\text{к}} \cdot S \cdot \{1 - RH \cdot \exp[(t_{\text{в}} - t_{\text{к}})/t_0]\} \quad (2.3.14)$$

Здесь $K_{\text{к}} = 1,25 \cdot 10^3$ Вт/м². Видно, что если содержимое фигурных скобок не слишком мало (реально это так вдали от точки росы), скорость теплотопотерь при испарении влаги может достигать очень больших величин – до 1 кВт с 1 м² поверхности тела.

Такой скорости теплообмена с избытком хватает для отвода любого количества метаболического тепла, если только этому не препятствует одежда, высокая влажность окружающего воздуха и пр.

2.3.4. Легочный теплообмен

Определим теплотопотери при дыхании. Один из каналов теплотопотерь при дыхании – нагревание воздуха от температуры t_1 вдыхаемого до температуры t_2 выдыхаемого. Мощность этих теплотопотерь определяется выражением:

$$W_1 = Y \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (2.3.15)$$

здесь обозначено: C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении ($\approx 1,3 \cdot 10^3$ Дж/м³/°С [14]), Y – скорость легочной вентиляции (см. п. 2.2.3). Следует иметь в виду, что теплообмен воздух – внутренняя поверхность дыхательных путей представляет собой очень сложный процесс (см. гл. 1). Воздух нагревается при вдохе от температуры наружного воздуха до температуры внутренних органов (легких), а при выдохе воздух охлаждается, хотя и не до начальной температуры. Таким образом, в (2.3.15) можно принять $t_1 = t_{\text{в}}$, но нельзя приравнять температуру t_2 температуре внутренних органов. Более того, температура t_2 меняется в зависимости от активности человека (энерговыделения $W_{\text{пол}}$). Ситуацию несколько упрощает то обстоятельство, что сам по себе этот канал теплотопотерь относительно невелик (см. ниже обсуждение полного легочного теплообмена), поэтому не очень важно – какой величине приравнять температуру t_2 . Будем в дальнейшем считать ее средней между температурой внутренних органов ($\approx 38^\circ\text{C}$) и температурой кожи ($\approx 34^\circ\text{C}$). Это допущение не приводит к сколько-нибудь серьезному искажению общей картины теплообмена.

Другой канал теплотопотерь при дыхании – испарение влаги с внутренней поверхности дыхательных путей при легочной вентиляции. Следует отметить, что влагообмен при дыхании – сложный почти циклический процесс, в котором вдыхаемый воздух увлажняется за счет испарения влаги с поверхности дыхательных путей, а выдыхаемый воздух – осушается за счет поглощения части влаги (см.

подробнее в гл.1), но для последующего достаточно ограничиться рассмотрением начального a_a и конечного a_b содержания влаги во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе соответственно. В зависимости от этих параметров потери тепла можно записать в виде:

$$W_2 = Y \cdot j \cdot (a_b - a_a) \quad (2.3.16)$$

Здесь, как и выше в § 2.1, обозначено: a – абсолютное влагосодержание в воздухе (г/м^3), j – теплота испарения ($2,6 \cdot 10^3 \text{ Дж/г}$).

Величина влагосодержания во вдыхаемом воздухе является одним из параметров микроклимата. Важно отметить, что в охлаждающей среде влияющим параметром является именно абсолютная (а не относительная) влажность воздуха. Эта величина должна либо измеряться в процессе контроля, либо задаваться при определении необходимых параметров микроклимата. Что касается влагосодержания в выдыхаемом воздухе, эта величина определяется составляющими очень сложного процесса дыхания и вряд ли ее можно определить исходя из каких-либо «первых принципов». Однако, эта величина и ее зависимости от параметров легочной активности достаточно подробно изучались экспериментально. Подробный обзор этих работ приведен в гл. 1, для последующего наибольший интерес представляет результат регрессионного анализа экспериментально установленной зависимости абсолютного влагосодержания a_b в выдыхаемом воздухе от значащих параметров активности человека.

В принятых нами обозначениях эта формула имеет вид

$$a_b = a_0 + a_1 \cdot f + a_2 \cdot V_l + a_3 \cdot t_a + a_4 \cdot \rho + a_5 \cdot a_a \quad (2.3.17)$$

Здесь $a_0 \dots a_5$ – коэффициенты регрессии для соответствующих переменных:

$a_0 = 28,7 \text{ г/м}^3$,

f – частота дыхания ($1/\text{с}$, $a_1 = -16,2$),

V_l – дыхательный объем (м^3 , $a_2 = 70$),

t_a – температура вдыхаемого воздуха ($^\circ\text{C}$ $a_3 = 0,22$),

ρ – плотность воздуха (кг/м^3 , $a_4 = -0,06$),

a_a – абсолютное влагосодержание во вдыхаемом воздухе (г/м^3 , $a_5 = 0,145$).

Целесообразно переписать эту формулу в более удобном для дальнейшего анализа виде. Отметим, прежде всего, что соотношение (2.3.17) применимо для весьма широкого спектра ситуаций, не все из них представляют интерес для настоящего изложения. Например, присутствие в сумме (2.3.17) члена $a_4 \cdot \rho$ отражает роль изменений плотности вдыхаемого воздуха. Так как коэффициент a_4 невелик, то серьезной эта роль может стать только при значительных изменениях плотности ρ , характерных либо для условий высокогорья, высотных полетов и т.п., либо наоборот – для условий подводной работы, глубоко под землей и пр. Если исключить из рассмотрения деятельность в таких экстремальных условиях, величину ρ можно считать постоянной и равной $1,23 \text{ кг/м}^3$ (см. [6], [8]), что даст постоянный вклад в сумму (2.3.17) равный $\approx -0,07 \text{ г/м}^3$ (заметим – существенно меньший, чем вся сумма).

Второе и третье слагаемые в сумме (2.3.17) непосредственно связаны со скоростью легочной вентиляции Y . Если записать слагаемое $a_1 \cdot f$ в виде $(a_1/V_l) \cdot Y$, то и коэффициент при Y , и слагаемое $a_2 \cdot V_l$ можно считать постоянными, так как эффекты изменения скорости легочной вентиляции вполне описываются членом $b \cdot Y$, если $b = a_1/V_l$.

Заметим, что в пределах принятой точности вычислений слагаемое $a_2 \cdot V_l$ сокращается со слагаемым $a_4 \cdot \rho$.

Несколько неожиданным является то обстоятельство, что коэффициент b при Y отрицателен: $b = -1,62 \cdot 10^{-4} \text{ г} \cdot \text{с/м}^6$. Это означает, что усиление легочной вентиляции (рост Y с ростом энерговыделения) уменьшает влажность выдыхаемого воздуха и, соответственно – теплопотери на испарение влаги при дыхании. При достаточно интенсивной вентиляции (соответствующей большому энерговыделению) этот эффект может вообще прекратить теплопотери. Создается впечатление (подтверждаемое наблюдениями), что чрезмерная мышечная активность ухудшает адаптационные возможности организма. Подробное обсуждение этого вопроса приведено в гл. 1.

Если теперь собрать оставшиеся члены в сумме (2.3.17) для a_b , подставить их в (2.3.16) и сложить теплопотери W_1 и W_2 , то можем записать полные теплопотери при дыхании в виде

$$W_{\text{лег}} = W_p \cdot \gamma(\omega) \cdot [1 - t_a/t_p - a_a/a_p - \gamma(\omega)/\gamma_p] \quad (2.3.18)$$

Здесь индексом p отмечены характерные для дыхательного теплообмена масштабы величин, определяющих теплопотери: $W_p \approx 31 \text{ Вт}$, $t_p \approx 164^\circ\text{C}$, $a_p \approx 56 \text{ г/м}^3$, $\gamma_p \approx 12$. Определения переменной ω и функции $\gamma(\omega)$ даны выше в п. 2.2.1 и п. 2.2.3 соответственно.

Преимущество записи легочных теплопотерь в форме (2.3.18) в том, что из нее сразу видна относительная роль того или иного фактора. Например, если температура воздуха t_a меняется в допустимых для жилого помещения пределах $20 - 30^\circ\text{C}$, то соответствующий вклад слагаемого t_a/t_p в сумму в квадратных скобках в (2.3.18) не превосходит $10 - 20 \%$, а меняется всего на $5 - 7 \%$. Это обстоятельство делает возможным заменить слагаемое t_a/t_p в (2.3.18) его средним значением $\approx 0,15$. Эффекты, связанные с влажностью вдыхаемого воздуха, могут быть существеннее. Например, если a_a достигает величины $\approx 50 - 60 \text{ г/м}^3$, это делает легочную теплоотдачу невозможной. Следует отметить, впрочем, что такая величина влажности соответствует насыщению воздуха водяным паром при температуре $35 - 40^\circ\text{C}$ (см. табл. 2.1.2). При меньших температурах воздуха даже насыщающая влажность существенно меньше указанной величины $50 - 60 \text{ г/м}^3$. Так, при 20°C и относительной влажности 50% , величина $a_a \approx 9 \text{ г/м}^3$ и вклад соответствующего слагаемого в сумму (2.3.18) составляет $\approx 0,15$, т.е. не превосходит вклада слагаемого с температурой воздуха. При таких параметрах микроклимата совместное влияние температуры и влажности воздуха приводит к уменьшению легочных теплопотерь на $\approx 30 \%$.

Результаты расчетов легочных теплопотерь, как функции двух переменных $W_{\text{пол}}$ и a_a , приведены на рис. 2.3.3. Непосредственно видно, что если человек находится в покое, теплопотери при дыхании составляют примерно 20% от тепла W_0 основного (фонового) обмена веществ в организме (см. выше § 2.2). Однако, с ростом мышечной активности (рост аргумента ω функции γ), величина легочных теплопотерь возрастает и достигает максимума $\approx 60 \text{ Вт}$ при таком энерговыделении ($W_{\text{tot}} \approx 2,5 \cdot W_0$), которое примерно вдвое превосходит анаэробный порог. Это поведение теплопотерь при дыхании характерно для сухого воздуха ($a_a = 0 \text{ г/м}^3$), с увеличением влажности воздуха, как положение максимума, так и его величина сдвигаются в сторону меньшего энерговыделения.

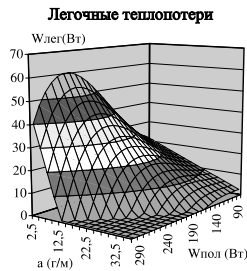


Рисунок 2.3.3.

При большой влажности воздуха (25 – 30 г/м³) легочные теплотери практически зануляются. Это связано с тем, что испарение влаги становится невозможным, а теплотери на нагревание выдыхаемого воздуха малы изначально (составляют долю t_a/t_p – не более 10% от максимально возможных по этому каналу).

§ 2.4. ИЛЛЮСТРАТИВНАЯ МОДЕЛЬ КОМФОРТНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Как уже было сказано ранее, в определении комфорта как условие входит приятное теплоощущение человека, поскольку роль субъективной оценки микроклимата велика. Однако, считать ее достаточной для суждения о степени комфорта было бы неправильно даже в отношении взрослых людей. У детей же, например, раннего возраста, словесный отчет о теплоощущениях вообще невозможен. Поэтому при определении теплового комфорта должны учитываться как субъективные, так и объективные показатели теплового состояния. С этих позиций под определением понятия комфорта следует понимать такие метеорологические условия, когда при субъективно хорошем теплоощущении тепловое равновесие организма обеспечивается без напряжения терморегуляторного аппарата и физиологические сдвиги не выходят за пределы колебаний, обычных у людей данного коллектива, причем это условия, при которых «протекание всех остальных физиологических функций происходит на уровне наиболее благоприятном для отдыха и восстановления сил организма после предшествовавшей рабочей нагрузки». Под термином «тепловой комфорт» понимаются метеорологические условия, обеспечивающие оптимальный уровень физиологических функций, в том числе и терморегуляторных. Именно метеорологические параметры теплового комфорта служат гигиенической «нормой».

Подробное исследование эффектов, сопровождающих теплообмен человеческого организма с окружающей средой является предметом последующего изложения (см. гл. 3). Представляется целесообразным предварить изложение этого вопроса простыми примерами, не претендующими на описание реальных деталей этого процесса, но поясняющими алгоритм конструирования гигиенических выводов из результатов анализа термодинамических процессов.

Вполне разумным представляется предположение, что в основе теплового гомеостаза лежат механизмы чисто термодинамической природы, действие этих механизмов сводится к рутинным процессам теплопередачи, а ощущение комфорта должно

быть связано с «легкостью» и «естественностью» поддержания теплового баланса в организме. Проиллюстрируем сказанное на примере простейшего канала кондуктивных теплотерий организма при кожном теплообмене с воздухом (см. выше п.2.3.1).

2.4.1. Простейшая модель теплообмена. Педантичный подход

Запишем, для последующих ссылок, объединенный закон кондуктивного и радиационного теплообмена (2.3.9) для близких значений температур (радиационной и воздуха):

$$J_k = (S/R)_{\text{эфф}} * (t_k - t_b) \quad (2.4.1)$$

Здесь $(S/R)_{\text{эфф}}$ – значения параметра теплоизолированности тела (см. выше п. 2.3.2), меняющийся от 0 (полностью теплоизолированный человек – напр. в меховом комбинезоне, рукавицах и маске на лице) до «20 Вт/°С (полностью обнаженный), t_b – температура воздуха, которая отличается от температуры кожи t_k .

Обычная ошибка, совершаемая при анализе соотношения (2.4.1) – рассматривать его (как правило, в рассмотрении включается большее количество каналов теплотерий) как уравнение. На самом деле – это условие, накладываемое на входящие в него величины. Уравнением оно становится только если определить все величины в нем, кроме одной, которая будет рассматриваться как неизвестная. Например, если задать тепловыделение $W_{\text{пол}} = 90$ Вт, температуру кожи $t_k = 34^\circ\text{C}$, и принять параметр теплоизолированности равным $(S/R)_{\text{эфф}} = 5$ Вт/оС, то условие $J_k = W_{\text{пол}}$ удовлетворяется при значении неизвестной $t_b \approx 16^\circ\text{C}$. В качестве интерпретации этого результата можно предложить следующее рассуждение.

Величина тепловыделения $W_{\text{пол}} \approx 90$ Вт характерна для человека в спокойном состоянии, так же как и температура кожи $t_k \approx 34^\circ\text{C}$ (см.гл.1). Если площадь открытой поверхности составляет $S \approx 0,5$ м² (это примерно четверть площади тела взрослого человека), то температуру воздуха $t_b \approx 16^\circ\text{C}$ следовало бы считать наиболее оптимальной для человека, у которого канал теплотерий (2.4.1) будет единственным. Теплообмен человека с такой средой можно считать «легким» и «естественным». Следует ожидать также, что человек будет ощущать эти условия как «комфортные».

Вполне возможна другая постановка задачи, приводящая к другому ответу. Например, можно потребовать, при заданных тепловыделении и температурах кожи и воздуха, определить требуемую площадь открытой поверхности, обеспечивающую «комфортный» теплообмен. Если, как и выше $W_{\text{пол}} = 90$ Вт, $t_k = 34^\circ\text{C}$, а $t_b = 22^\circ\text{C}$, то получим, что требуемая площадь составляет примерно 0,75 м². Подобным образом можно определить величину тепловыделения для заданных температур (воздуха и кожи) и величины открытой поверхности.

Для набора параметров – энергоснабжения и теплоизолированности тела набор значений комфортных температур будет иметь вид таблицы (см. табл. 2.4.1).

Таблица 2.4.1.

Комфортная температура воздуха при выполнении работы различной тяжести при различной теплоизолированности тела

Wпол, Вт	(S/R)эфф, Вт/С				
	10	12	14	16	18
100	24,0	25,7	26,9	27,8	28,4

150	19,0	21,5	23,3	24,6	25,7
200	14,0	17,3	19,7	21,5	22,9
250	9,0	13,2	16,1	18,4	20,1
300	4,0	9,0	12,6	15,3	17,3
350	-1,0	4,8	9,0	12,1	14,6

Условие (2.4.1) не позволяет, однако, определить ни одну из величин, если не заданы все остальные. Бессмысленно, например, говорить о «комфортной» температуре воздуха, если не определена площадь открытой поверхности тела. Никакие статистические исследования, никакие, сколь угодно сложные, номограммы не в состоянии изменить эту ситуацию.

Условие близости радиационной температуры $t_{рад}$ к температуре воздуха t_v не принципиально. Отказ от него приводит к задаче того же типа, что и анализ соотношения (2.4.1). Если $t_{рад} \neq t_v$, условия теплового баланса целесообразно записывать не объединяя радиационный и конвективный теплообмен. Для оценок мощности радиационного теплообмена $J_{изл}$ будем использовать соотношение (2.3.7), записанное в виде, аналогичном (2.3.1):

$$J_{изл} = S \cdot \beta \cdot (t_k - t_{рад}) \quad (2.4.2)$$

Здесь величина $\beta = 5,3 \text{ Вт/м}^2/\text{°C}$, t_k – как и выше, температура кожи, $t_{рад}$ – радиационная температура (температура стен, ограждений, потолков и т.п.). Если рассмотреть совместное действие конвективного и радиационного теплообмена, условие теплового баланса можно записать в виде

$$W_{пол} = J_k + J_{изл} = S \cdot [\alpha \cdot (t_k - t_v) + \beta \cdot (t_k - t_{рад})] = S \cdot \alpha_{эфф} \cdot (t_k - t_{ощ}) \quad (2.4.3)$$

Здесь введены следующие обозначения: эффективный коэффициент теплообмена $\alpha_{эфф} = \alpha + \beta$, и т.н. «ощущаемая» температура $t_{ощ} = (\alpha t_v + \beta t_{рад}) / (\alpha + \beta)$. Происхождение этого термина обсудим позже, сейчас же заметим, что с точностью до обозначений соотношение (2.4.3) совпадает с (2.4.1). Соответственно, можно заново интерпретировать все выводы, в том числе и данные, приведенные в табл. 2.4.1, следует только говорить не о температуре воздуха, а об «ощущаемой» температуре, определяемой комбинацией из t_v и $t_{рад}$.

2.4.2. Ранние подходы

С условием (2.4.3) связана серия работ в области гигиенической оценки микроклимата, начавшаяся работами Ричела и Райса (обзор этих работ дан в книге [17]). Несмотря на то, что эти работы были выполнены более полувека назад, их влияние проявляется в некоторых отечественных нормативных документах (см. напр. [19], [20]), действующих и в настоящее время. Суть дела в следующем.

Несмотря на то, что для определения комфортных условий из соотношения (2.4.3) требуется не меньше данных, чем для анализа соотношения (2.4.1), Ричел и Райс придавали «ощущаемой» температуре самостоятельное значение и пытались использовать ее как независимый (от энергозатрат или теплоизолированности тела) критерий комфорта: $18,5^\circ\text{C} < t_{ощ} < 21,5^\circ\text{C}$.

Несмотря на очевидную недостаточность этого параметра для исчерпывающей оценки влияния микроклимата на человека, были предприняты попытки сконструиро-

вать прибор для непосредственного измерения величины $t_{ощ}$. Это так называемый шаровой термометр Вернона, представляющий собой окрашенный в черный цвет полый медный шар диаметром 15,7 см, в котором заключен ртутный термометр. Температура шара $t_{ш}$ определяется из условия баланса – нагрева за счет излучения и охлаждения за счет конвекции. Если использовать для расчетов соотношения (2.4.1) и (2.4.3), величина $t_{ш}$ задается формулой

$$t_{ш} = (\alpha t_v + \beta t_{рад}) / (\alpha + \beta) \quad (2.4.5)$$

т.е. тем же выражением, что и $t_{ощ}$.

Реально температура, измеренная внутри шара Вернона может существенно отличаться от рассчитанной температуры $t_{ощ}$ хотя бы потому, что отличаются степени нечерноты шара и кожи человека. Более того, если радиационная температура $T_{рад}$ существенно отличается от температуры кожи T_k , соотношение (2.3.6), предполагающее допустимым переход от разностей четвертых степеней температур к разностям самих температур становится несправедливым, а с ним теряет смысл и сама ощущаемая температура. Т.е. измерения с шаром Вернона приводят к неверным результатам именно в тех случаях (горячее производство, шахты и т.п.) где особенно необходим учет тепловой радиации. Попытки модернизировать этот прибор (изготовление шара из резины, трансформация шара в полуметровый цилиндр [18] и пр.) не привели к серьезным практическим улучшениям результатов, что легко объяснимо неполнотой исходный посылкой.

Следует отметить, что это направление работ развивалось в первой половине прошлого века, когда отсутствовали хорошие, достаточно удобные в обращении, приборы для измерения радиационной температуры, влажности воздуха, малых скоростей воздушных потоков и пр. На том этапе работ использование шара Вернона и подобных ему приборов (напр. кататермометра) существенно продвинуло исследования, однако упоминание этих приборов в современных нормативных документах (напр. ГОСТах [19] и [20]) представляется анахронизмом.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Резюмируем изложенное в виде кратких выводов.

1. Процессы теплообмена между организмом человека и окружающей средой можно описывать, измерять и анализировать, отвлекаясь от сложности процессов, идущих в самом организме. Этот анализ можно проводить опираясь на результаты по процессам теплообмена достаточно хорошо понятым и описанным в различных разделах науки и техники (термодинамика, молекулярная физика и т.п.). Последовательно придерживаясь этой точки зрения, можно полагать, что сколь бы сложными не были процессы в организме и в окружающей среде, их вклад в теплообмен на границе организм – окружающая среда может быть описан только в тех терминах, которые описывают сами процессы теплообмена.

2. Существует несколько механизмов отдачи метаболического тепла в окружающую среду, причем организм включает их в различных комбинациях, в зависимости от ситуации: интенсивности работы, параметров внешней среды, степени теплоизолированности тела и пр. Основные среди этих механизмов:

2.1. Кондуктивный теплообмен кожа-воздух. Он описывается законом Ньютона: мощность теплообмена тем больше, чем сильнее отличаются температуры ко-

жи и воздуха. При анализе теплообмена следует, вообще говоря, учитывать различную степень «закрытости» (теплоизолированности) различных участков человеческого тела. Для этого под площадью S открытой поверхности тела следует понимать площадь поверхности специальным образом усредненную по различным участкам с различной степенью теплоизолированности. В зависимости от количества и качества одежды, величина S может изменяться в пределах от 0 (полностью теплоизолированный от внешней среды человек) до «2 м² (полностью обнаженный взрослый человек).

2.2. Теплообмен излучением – процесс переноса энергии, обусловленный превращением части внутренней энергии вещества в энергию излучения и его поглощением веществом (обратным превращением энергии электромагнитных волн во внутреннюю энергию). Здесь расчеты основываются на законах излучения черного тела. Реально величины теплотерь при кондуктивном и радиационном теплообмене близки по величине. Во многих случаях потоки тепла по каналам кондуктивного и радиационного теплообменов можно рассматривать совместно. При этом термосопротивления обеих каналов складываются по законам параллельного соединения сопротивлений: $1/R = 1/R_{\text{изл}} + 1/R_{\Sigma}$. Самостоятельную проблему представляет собой определение реального значения параметра теплоизолированности тела $(S/R)_{\text{эфф}}$ с учетом как кондуктивных, так и радиационных теплотерь.

2.3. Теплообмен при выделении и испарении пота. Скорость испарения определяется парциальными давлениями пара над кожей и в воздухе. Из-за большой величины удельной теплоты испарения, скорость теплотерь по этому каналу может достигать очень больших величин, достаточных для отвода любого количества метаболического тепла, если только этому не препятствует одежда, высокая влажность окружающего воздуха и пр.

2.4. Легочный теплообмен. Один из каналов теплотерь при дыхании – нагревание воздуха от температуры t_1 вдыхаемого до температуры t_2 выдыхаемого. Реально мощность этих теплотерь невелика. Более значим другой канал теплотерь при дыхании – испарение влаги с внутренней поверхности дыхательных путей при легочной вентиляции. Результаты расчетов легочных теплотерь, показывают, что если человек находится в покое, теплотери при дыхании составляют примерно 20% от тепла основного (фоновое) обмена веществ в организме. С ростом мышечной активности величина легочных теплотерь возрастает и достигает максимума «35% общих теплотерь при энерговыделении примерно вдвое превосходящем анаэробный порог.

3. В основе теплового гомеостаза лежат механизмы чисто термодинамической природы, действие этих механизмов сводится к рутинным процессам теплопередачи, а ощущение комфорта должно быть связано с «легкостью» и «естественностью» поддержания теплового баланса в организме. Следует учитывать, что считать условия теплового баланса уравнением для определения входящих в него величин можно только если определить все величины в нем, кроме одной, которая будет рассматриваться как неизвестная. Бессмысленно, например, говорить о «комфортной» температуре воздуха, если не определена площадь открытой поверхности тела, энерговыделение, влажность воздуха и пр. Никакие статистические исследования не в состоянии изменить эту ситуацию.

1. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Пер. с венг. В.М.Беляева; Под ред. В.И.Прохорова и А.Л.Наумова.-: Стройиздат, 1981.-248 с.
2. Fanger P.O., Thermal Comfort. McGraw Hill, 1970.
3. International standard. Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. ISO 7730. Second edition. 1994.
4. ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1993.
5. Standard ASHRAE 55, 1992.
6. Матвеев Л. Т., Основы общей метеорологии, Л., 1965, 340 с.
7. Стернзат М. С., Метеорологические приборы и наблюдения, Л., 1968, гл. 4;
8. Хромов С. П., Метеорология и климатология для географических факультетов, 2 изд., Л., 1968.
9. Усольцев В. А., Измерение влажности воздуха, Л., 1959;
10. Иванов К.П. и др. Физиология терморегуляции. Л., Наука, 1984, 470 с.
11. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1999.-448 с.
12. Руководство к практическим занятиям по гигиене труда./ под ред. З.И. Израэльсона и Н.Ю. Тарасенко. – М.: Медицина, 1973. – 480с.
13. Бреслав И.С., Исаев Г.Г. (ред), Физиология дыхания. 1994, СПб, Наука, 680 с.
14. Кутаталадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990.-367с.
15. Хирс Д., Паунд Г., Испарение и конденсация, (пер. с англ.), ИИЛ, М., 1966.
16. Reynolds W.C., Perkins H.C. Engineering Thermodynamics, McGraw-Hill Book Co., 1977.
17. Bedford, Th. Basic Principles of Ventilation and Heating. London, 1948.
18. Deighton T., Physiological Reviews, 1933, v. 13, p. 427.
19. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М., 1988 г.
20. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М., 1999.
21. Лойт А.О., Кротов Ю.А. Установление гигиенических регламентов в разных средах: Учебное пособие. – СПб. 1996г.

ГЛАВА 3. ТЕПЛООЩУЩЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Предметом последующего изложения является определение теплоощущений человека в зависимости от параметров микроклимата. Принцип, закладываемый в основу этих исследований, сводится к следующему. Сами по себе определения потоков тепла и условия теплового баланса, приведенные в гл. 2, не содержат оценок параметров микроклимата. Категории оценки должны быть внесены в процедуру анализа извне, дополнительно к балансовым соображениям. Последовательно придерживаясь точки зрения, сформулированной во вводных замечаниях к главе 2, можно полагать, что сколь бы сложными не были бы процессы в организме и в окружающей среде, их вклад в теплообмен на границе организм – окружающая среда может быть описан только в тех терминах, которые описывают сами процессы теплообмена. Иными словами, значение выписанных в гл. 2 соотношений состоит в том, что в них входят все параметры, могущие быть использованными для субъективных оценок микроклимата. Именно поэтому в гл. 2 были столь подробно (и по возможности – строго) определены параметры, используемые при анализе теплового баланса организма. Никакая «эффективная», «оперативная» или «эквивалентная эффективная» температуры, никакие «каты» не могут быть использованы для оценки микроклимата, кроме тех параметров, которые могут быть выражены через рутинные термодинамические переменные, но если это можно сделать, нужда во введении дополнительных переменных отпадает сама собой. Никакого самостоятельного значения они не имеют и могут появляться только как вспомогательные переменные, упрощающие запись и анализ термодинамических соотношений.

Этот принцип вполне совпадает с подходом П.О.Фангера, который в отличие от коллег, при разработке метода оценки комфортности микроклимата в помещениях использовал только термодинамически определенные параметры. Идеологическая основа подхода П.О.Фангера такова. Активность человека характеризуется тепловыделением M (обозначения П.О.Ф.), его состояние – суммарными (по различным каналам) теплопотерями W . Показатель комфорта PMV (Predicted Mean Vote) пропорционален разности между тепловыделением и теплопотерями $PMV = A \cdot (M - W)$. Коэффициент пропорциональности A в этой формуле зависит (хотя и слабо) от тепловыделения M (см. рис. 3.0.1). Если $M > W$, происходит перегрев организма, что выражается в ощущении «тепла», «жары» и т.п. В обратном случае происходит переохлаждение организма, что выражается в ощущении «прохлады», «холода» и т.п. Дальнейшее сводится к определению величины M и подсчету W . С показателем комфорта PMV однозначно связана величина PDD (Predicted Percentage Dissatisfied) – ожидаемый процент недовольных микроклиматическими условиями, однако это уже чисто эмпирический показатель, определяемый результатами статистических исследований на добровольцах.

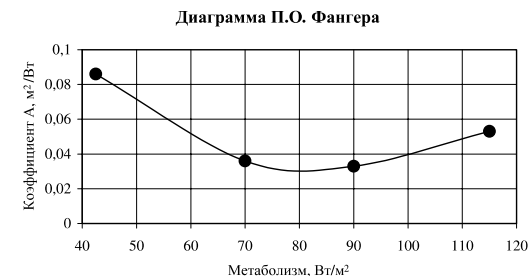


Рисунок 3.0.1.

Ниже будут использоваться те же основные параметры (тепловыделение и теплопотери), однако принципы интерпретации результатов будут иными. Нам представляется, что подход П.О.Фангера чересчур прямолинеен и основан на довольно грубой оценке теплового состояния человека. Более или менее очевидно, что достаточно сильное напряжение систем терморегуляции может поддерживать тепловой баланс (т.е. обеспечивать зануление величины PMV) в широких диапазонах действующих параметров микроклимата, однако не все из этих условий будут восприниматься как комфортные.

§ 3.1. ПРИНЦИПЫ ОБЪЕКТИВИЗАЦИИ ТЕПЛООЩУЩЕНИЙ

3.1.1. Индекс $PMV+$

Мы предлагаем более «тонкий» критерий оценки, основанный на предположении, что необходимость напряжения систем терморегуляции будет восприниматься как ощущение дискомфорта в неподходящих условиях внешней среды, даже если системы терморегуляции и «справляются» с задачей обеспечить тепловой баланс. Именно в этом состоит принципиальное отличие нашего подхода к оценке микроклимата от подхода П.О.Фангера.

Различные механизмы терморегуляции подробно описаны в гл.1. По-видимому, решение о том, какой из них «включить» и насколько интенсивно, решается в зависимости от сигналов, получаемых терморегуляторным центром от рецепторов, расположенных в различных частях организма. Важно, что не существует рецепторов, определяющих теплосодержание в организме, в то же время постоянно работают рецепторы температуры. Именно они информируют центр о тепловом состоянии организма и необходимости принятия мер по его нормализации. Таким образом, теплоощущения связаны с температурой различных частей тела, а не с содержанием тепла. Вероятнее всего, степень напряжения тех или иных механизмов терморегуляции определяется совокупной информацией о температуре различных частей тела, при этом способы интеграции этой информации, в настоящее время неизвестны. Можно предположить, что максимальный «вес» имеет информация, приходящая непосредственно из тех частей организма, которые непосредственно контактируют с внешней средой, т.е. от кожных рецепторов.

Сформулированный принцип является определенным развитием предположения, высказанного в конце гл. 2 (§ 2.4), о том, что ощущение комфорта должно быть связано с «легкостью» и «естественностью» поддержания теплового баланса организма с окружающей средой. Соответственно, трудность поддержания баланса воспринимается как дискомфорт (см. подробнее гл.1). Для объективизации теплоощущений необходимо выбрать физический параметр, непосредственно определяющий эти ощущения. В рамках сформулированного во вводных замечаниях (к гл. 2 и 3) подхода к проблеме анализа эффектов на границе организм – окружающая среда, в качестве такого параметра может выступать только одна из переменных, входящих в условия теплового баланса. Таким образом, мы приходим к идее использовать средневзвешенную температуру кожи в качестве основы для объективизации теплоощущений. В качестве дополнительных соображений, подкрепляющих оправданность такого подхода, можно привести следующее.

Поверхность организма – это та его часть, которая непосредственно контактирует с внешней средой, и именно сигналы термо – и влагорецепторов этой части организма несут наиболее оперативную и достоверную информацию о внешних воздействиях, соответственно эта информация может служить основанием для принятия решений о необходимости либо снижения теплоотдачи (в охлаждающей среде), либо включения дополнительных каналов теплопотерь (в нагревающей среде).

Для установления теплового комфорта важное значение имеют не только абсолютные величины температур кожи отдельных участков тела, но и соотношение этих цифр, свойственных здоровому человеку для данного сезона года. Изменения в таком же направлении встречаются в различных климатических зонах (север, юг).

Следует отметить, что средневзвешенная температура кожи при неравномерном нагревании (или охлаждении) человека может соответствовать совсем не тем теплоощущениям, которые оценивает сам человек по локальным ощущениям. Например, при относительно высоком уровне средневзвешенной температуры кожи и нормальных общих теплоощущениях человек может жаловаться на охлаждение той или иной области тела. Топография температуры кожи определяется особенностями кровообращения, терморецепторного аппарата, теплопроводности тканей одежды. Ее учет важен при исследованиях механизмов адаптации к внешним условиям, а также обосновывает дифференцированный подход при разработке рекомендаций по профилактике охлаждения и перегревания.

Однако при анализе среднестатистических эффектов микроклимата локальные теплоощущения не следует принимать во внимание, также как и индивидуальные особенности людей (психофизическое состояние, состояния кожного покрова, потовых желез и т.п.)

Значения средневзвешенной температуры кожи, соответствующие различным теплоощущениям человека при выполнении им физической работы с различными уровнями полного энерговыделения $W_{пол}$, приведены в таблице 3.1.1. (см. [1], стр. 102). Близкие результаты были получены В.И.Кричагиным в работе [2]. Важно отметить, что и П.О. Фангер и В.И. Кричагин использовали одну и ту же технику опроса добровольцев, причем ответы группировались в одних и тех же терминах «комфорт», «прохладно», «холодно» и т.п. Это обстоятельство позволяет описывать результаты В.И. Кричагина той же величиной PMV, которую использовал П.О. Фангер. Будем в дальнейшем пользоваться этим, отмечая величину PMV, определяемую по температу-

ре кожи значком «+». Значение PMV+ приведено в табл. 3.1.1 вместе со словесным описанием теплоощущений.

Таблица 3.1.1.
Расчет температур кожи, соответствующих различным теплоощущениям при выполнении работ с различными уровнями энергозатрат

W, Вт	Теплоощущения (PMV+)			
	Комфорт (0)	Прохладно (-1)	Холодно (-2)	Оч. холод.(-3)
100	34,3	31,7	28,8	26,6
150	33,4	30,8	28,0	25,8
200	32,5	30,0	27,3	25,1
250	31,6	29,2	26,5	24,4
300	30,8	28,3	25,7	23,7
350	29,9	27,5	24,9	22,9

Отметим, что значения средневзвешенной температуры кожи, соответствующие различным теплоощущениям человека меняются при выполнении им физической работы с различными уровнями полного энерговыделения $W_{пол}$. В дальнейшем можно будет использовать не только целочисленные значения индекса PMV+, но, так же как и П.О. Фангер, вводить более тонкую градацию, сохраняя дробные части, получающиеся в результате расчетов этой величины.

Для реализации этой возможности введем параметр Θ , имеющий размерность температуры, через который средневзвешенная температура кожи t_k выражается по формуле

$$t_k = \Theta * (1 - 0,001 * W/S) \quad (3.1.1)$$

(полное энерговыделение W выражается в Вт, площадь S поверхности тела – в m^2), а индекс PMV+ по формуле

$$PMV+ = 0,0255 * \Theta^2 - 1,1757 * \Theta + 10,048 \quad (3.1.2)$$

Данные, приведенные в таблице 3.1.1, являющиеся квинтэссенцией результатов многочисленных исследований гигиенистов-климатологов, будут использованы ниже для расчетов теплового состояния человека выполняющего работу различной степени тяжести в различных микроклиматических условиях.

В этом состоит принципиальное отличие нашего подхода к оценке теплоощущений микроклимата от подхода П.О. Фангера. Одним из следствий такого различия в подходах к оценке теплоощущений является необходимость отдельного рассмотрения охлаждающего и нагревающего микроклимата. Ясно, что при достаточно низких температурах окружающего воздуха процессы терморегуляции будут направлены на предотвращение охлаждения организма. Способами борьбы с переохлаждением могут быть уменьшение легочных теплопотерь, уменьшение теплоотдачи с кожи (за счет понижения ее температуры при сохранении температуры внутренних частей организма) и пр. (см. подробнее гл. 1). Потоотделение и диффузное влаговыделение здесь нежелательны и рефлекторно уменьшаются до минимально возможных значений, так что их вклад в суммарный тепловой баланс становится пренебрежимо мал. Это зона «сухих» (условно) теплопотерь.

При повышении температуры среды процессы терморегуляции меняют свое направление на предотвращение перегревания организма. При этом теплоотдача с кожи останется эффективной только если ее температура станет выше, чем температура внутренних частей тела, что невозможно. Единственным способом сохранить тепловой баланс здесь является отдача тепла при испарении пота. Потоотделение (и теплозатраты на испарение пота) в таких условиях становится доминирующим каналом теплопотерь (см. подробнее гл.1). При этом температура кожи перестает быть параметром, определяющим теплоощущения, вместо нее таким параметром становится скорость потери влаги организмом при потовыделении.

В качестве терминов, принятых для оценки теплоощущений, ниже будет использоваться шкала «тепло – жарко – очень жарко», введенная в [2]. Этот выбор определяется тем, что в [2] эти ощущения связываются с величинами полных влагопотерь (см. [1] стр. 108 табл. 10). Так же как и при построении табл. 3.1.1, термины шкалы теплоощущений связываются с индексом PMV+, являющимся аналогом индекса PMV, соответствующего, согласно П.О. Фангеру, тем же теплоощущениям.

Таблица 3.1.2

Корреляция между теплоощущениями, полной влагопотерей и потерями за счет потоотделения

Ощущения	комфорт	тепло	жарко	оч.жарко
Полн.влагопотери (г/час)	50	60 – 250	250 – 500	500 – 2000
Потоотделение G (г/час)	0	10 – 200	200 – 450	450 – 1950
Индекс PMV+	0	1 – 2	2 – 3	3 – >3

Связь скорости потоотделения G с индексом PMV+ может быть описана интерполяционным выражением

$$G=Go*(PMV+)^{2,134} \tag{3.1.3}$$

где величина Go=44,2 г/час.

Между режимами охлаждения и нагревания организма лежит область комфорта, в которой легко и естественно (без напряжения систем терморегуляции) поддерживаются условия сохранения теплового баланса. Очевидно, что априорное определение параметров микроклимата, воспринимаемого как комфортный, невозможно, так как здесь необходимо учитывать характер активности (суммарное энерговыделение) человека, относительную открытость поверхности кожи или термосопротивление одежды и пр. Однако, анализ процессов теплообмена с учетом этих факторов дает возможность вполне адекватно определить как комфортные параметры микроклимата, так и теплоощущения при отклонении параметров от комфортных значений.

3.1.2. Индекс PPD

Индекс PMV представляет собой среднее значение высказываний относительно теплоощущений в большой группе людей, подвергающихся действию одних и тех же метеорологических параметров. Из-за индивидуальных различий, одни и те же теплоощущения могут вызывать различные оценки ситуации разными людьми. Для выявления

этого обстоятельства вводится индекс PPD (Predicted Percentage Dissatisfied), численно равный проценту людей, недовольных условиями, в которых они находятся. По своему определению, эта величина может меняться в пределах от 0 до 100. Репрезентативные статистические исследования П.О.Фангера установили зависимость индекса PPD от величины PMV, которую мы можем распространить и на величину PMV+:

$$PPD=100-95*\exp\{-(PMV+/2,14)^2-(PMV+/2,34)^4\} \tag{3.1.4}$$

Графически зависимость PPD=F(PMV+) представлена на рис. 3.1.1.



Рисунок 3.1.1

Диаграмма на рис.3.1.1 служит практической основой для оценки тепловой обстановки в помещении. Дискомфорт минимален при нулевом значении индекса PMV+. Минимум в 5% трудно достижим с технической точки зрения. Для этого требуются автоматические системы кондиционирования микроклимата. Процентное соотношение жалоб может меняться в зависимости от географического местоположения, сезона года, а также от назначения помещения и вида деятельности. Практически вполне приемлемым будет уровень 20% недовольных, что соответствует значениям ± 1 индекса PMV+. Приемлемые условия предполагают, что в результате высокой степени приспособляемости и действия терморегуляторных функций организма человек чувствует себя достаточно хорошо даже при условиях, не соответствующих оптимальным. При этом способность к физическому и умственному труду снижается незначительно.

§ 3.2. ВОСПРИЯТИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В охлаждающей среде основными каналами теплопотерь являются:

- теплоотдача с поверхности кожи (кондуктивная и лучистая), описанная в гл. 2 (п.п. 2.3.1, 2),
- легочный теплообмен (см. п. 2.3.4).

3.2.1. Так как легочные теплопотери могут быть определены a'priori, если известно полное энерговыделение и абсолютная влажность воздуха (см. п. 2.3.4), то задание этих величин дает возможность определить теплопотери кожа – воздух. Мощность теплопотерь по каналу теплоотдачи кожа – воздух определяется соотношением

$$J_{ик}=J_{изл}+J_{конд}=W_{теп}-W_{лег} \tag{3.2.1}$$

Основные особенности процесса теплоотдачи кожа – воздух подробно описаны в гл. 2. Величина теплопотерь равна произведению $(S/R)_{эфф} \cdot Dt$, где параметр теплоизоляции тела $(S/R)_{эфф}$ в зависимости от степени закрытости тела одеждой и от ее качества реально может меняться от 0 (полностью теплоизолированный человек – напр. в меховом комбинезоне, перчатках и маске на лице) до «20 Вт/°C (полностью обнаженный), а через Dt обозначена разность между средневзвешенной температурой кожи t_k и температурой воздуха t_v : $Dt = t_k - t_v$.

Результаты расчетов относительной доли теплопотерь кожа – воздух при различных значениях полного энергоснабжения $W_{пол}$ и абсолютной влажности воздуха a приведены на рис. 3.2.1. Результаты вполне согласуются с данными по легочным теплопотерям, приведенным на рис. 2.3.3: при небольшой абсолютной влажности воздуха по каналу кожа-воздух теряется «70%» всего тепла, с ростом влажности воздуха кожные теплопотери становятся основными. Немонотонность изменения доли кожных теплопотерь с ростом суммарного энергоснабжения обусловлена немонотонностью легочных теплопотерь (см. п. 2.3.4).

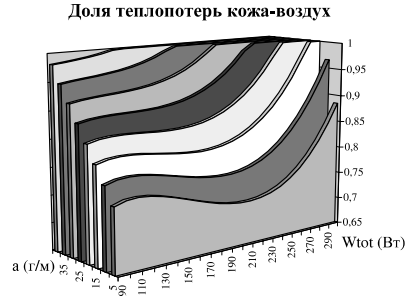


Рисунок 3.2.1.

После определения доли (и, соответственно, полной величины) теплоотдачи кожа – воздух, можно, задаваясь величиной параметра теплоизоляции тела $(S/R)_{эфф}$, определить разность температур кожа-воздух и вынести суждение относительно теплоощущений человека в рассматриваемых условиях.

Например, если принять значение $(S/R)_{эфф} = 10$ Вт/°C, то разницы температур кожа-воздух, обеспечивающие (с учетом доли легочных теплопотерь) тепловой баланс организма, должны быть такими, как приведены в таблице 3.2.1.

Таблица 3.2.1.

Разница температур кожа-воздух при выполнении работы с полным энергоснабжением $W_{пол}$ в воздухе с различной абсолютной влажностью

$W_{пол}$, Вт	Абс. влажность воздуха (г/м³)			
	5	10	15	20
100	7,6	7,9	8,2	8,5
150	10,4	10,9	11,4	11,9
200	13,0	13,8	14,7	15,5

250	16,5	17,9	19,3	20,7
300	22,8	24,9	25,8	25,8

Учитывая, что для каждого значения суммарного энергоснабжения может быть определена температура кожи, при которой классифицируются различные теплоощущения (см. табл. 3.1.1), из данных, приведенных в табл. 3.2.1, можно определить температуру окружающего воздуха, в которой выполнение работы с заданным уровнем полных энергоснабжений будет соответствовать различным теплоощущениям.

Примем, для определенности, относительную влажность воздуха $RH = 50\%$. Эти результаты приведены в табл. 3.2.2.

Таблица 3.2.2.

Теплоощущения (индекс $PMV+$), сопровождающие работу с энергоснабжениями $W_{пол}$ (Вт) в среде (воздухе) с температурой t (°C)

$W_{пол}$ (Вт)	Температура воздуха t (°C)						
	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
100				-2,8611	-1,90049	-0,50164	1,342122
110				-2,50044	-1,33324	0,286973	
120			-2,98243	-2,06537	-0,68586	1,163262	
130			-2,67573	-1,55657	0,042474		
140			-2,30122	-0,9729	0,854718		
150		-2,89244	-1,8574	-0,31089	1,756462		
160		-2,58261	-1,34033	0,435688			
170		-2,20448	-0,74319	1,276424			
180	-2,87285	-1,75071	-0,05562				
190	-2,55682	-1,2103	0,736958				
200	-2,15847	-0,56772	1,654243				
210	-1,66145	0,197989					
220	-1,04349	1,114609					
230	-0,27484						
240	0,683613						

В целом таблица демонстрирует вполне разумные требования к температуре – при малых энергоснабжениях (вблизи метаболического фона) требуется температура 22 -25°C. При выполнении тяжелого труда тепловое равновесие может быть достигнуто только если температура воздуха будет ниже 10°C для суммарного энергоснабжения 250 Вт.

Напомним, что данные, приведенные в табл. 3.2.2, получены в предположении, что теплоизоляция $(S/R)_{эфф} = 10$ Вт/°C. Если изменить площадь открытой поверхности или теплосоппротивление одежды на закрытой поверхности, это приведет к пропорциональному изменению разницы температур кожа-воздух и соответственно – к изменению оценок температур воздуха. Следует отметить, что диапазон возможностей здесь достаточно широк. Например, вполне реальны изменения теплоизоляции

в 5 раз – от 20 Вт/°C (полностью открытая поверхность тела) до 4 Вт/°C (открыто только лицо и руки). Необходимая для обеспечения теплового баланса разность **Dt** температур кожа-воздух меняется также в 5 раз. Эти данные приведены в табл. 3.2.3.

Таблица 3.2.3

Разница температур кожа-воздух при выполнении работы с полным энерговыделением $W_{пол}$ в воздухе с различной абсолютной влажностью

$W_{пол}$ (Вт)	Абсолютная влажность воздуха (г/м)							
	5		10		15		20	
100	3,8	18,9	3,9	19,7	4,1	20,4	4,2	21,2
150	5,2	26,1	5,5	27,3	5,7	28,5	6,0	29,8
200	6,5	32,4	6,9	34,6	7,3	36,7	7,8	38,9
250	8,2	41,2	8,9	44,7	9,6	48,2	10,3	51,7
300	11,4	57,0	12,5	62,3	12,9	64,5	12,9	64,5
	20	4	20	4	20	4	20	4
	Теплоизолированность C (Вт/С)							

Видно, что разности температур меняются в широких пределах. Это реально позволяет в охлаждающем микроклимате подбирать одежду, делающую практически приемлемой любую температуру воздуха для выполнения любой работы.

Проблемы начинаются в некоторых производственных помещениях, где накладываются жесткие ограничения, как на температурный режим, так и на одежду персонала. Вообще говоря, проблема подбора подходящих условий здесь может оказаться достаточно сложной. Такой пример приведен ниже в гл. 4.

§ 3.3. ТЕПЛОПОТЕРИ В НАГРЕВАЮЩЕЙ СРЕДЕ

3.3.1. Включение системы потоотделения

По смыслу определения температуры воздуха, ощущаемой как комфортная, следует, что при больших температурах никакое приемлемое увеличение температуры кожи не приводит к тепловому балансу организма с окружающей средой. Известно, какой выход найден природой для поддержания теплового гомеостаза организма – включается система потоотделения, сопровождающегося охлаждением организма при испарении пота. Потовые железы кожи служат прежде всего для регуляции поступления пота к поверхности тела, при этом попутно выделяются также около 5 – 10 % таких продуктов обмена, как мочевина. Активность потовых желез находится под контролем центра теплоотдачи. У человека объем выделяемого пота варьирует приблизительно от 0,5 л в прохладный день и до 2 – 3 л в жаркую погоду. Выполняя тяжелую физическую работу при высокой температуре, люди выделяют до 4 л пота за час (см. подробнее гл. 1). Испарение пота с поверхности кожи отнимает у организма столько тепла, сколько его требуется для превращения соответствующего количества жидкой воды в водяной пар.

Этот способ охлаждения требует напряжения сердечно-сосудистой системы организма, и системы дыхания, меняются параметры крови. Усиленное испарение пота вызывает нарушение водного баланса тела – дегидратацию. Поэтому в таких условиях снижается работоспособность и возникает угроза перегрева организма. Снижение работоспособности при повышенных температуре и влажности воздуха определяют три основных фактора: 1) перегревание тела, 2) быстрая дегидратация и 3) снижение кислород-транспортных возможностей сердечно-сосудистой системы.

Все эти процессы могли бы оказаться неэффективными, так как на их поддержание уходит добавочная энергия. Дело спасает чрезвычайно большая величина скрытой теплоты испарения воды j (более строго эта величина в термодинамике называется энтальпией испарения). В нормальных условиях $j \approx 2,5 \cdot 10^6$ Дж/кг. Чтобы представить эту величину, стоит отметить, что для повышения температуры 1 кг воды на 1°C требуется 1 килокалория тепла или энергия «4,28 * 103 Дж. Таким образом, если теплоту испарения направить на нагревание того же количества воды, ее температура повысится на «600°C. Таким образом, потоотделение – это очень мощный канал теплоотдачи. Для восстановления теплового баланса организма обычно требуется испарение сравнительно небольшого количества влаги. Рассчитаем – сколько именно.

Допустим, что условие баланса тепла (3.2.1) нарушается, реальный интерес представляет случай превышения тепловыделения над «минимальными» теплопотерями. Появляется избыток тепловой мощности **DW**, которую можно определить как разницу

$DW = W_{теп} - W_{лег} - J_{ик}$ (3.3.1)

между тепловыделением и «минимальными» теплопотерями (при дыхании и с сухой кожи). Для упрощения расчетов далее будет вполне оправданным принять температуру кожи постоянной и равной величине $t_k = 34^\circ C$. В физиологии принято измерять скорость влаготеперь **G** в единицах «грамм в час» (г/час). Учитывая, что скорость испарения влаги 1 г/час соответствует энергопотерям на испарение $L \approx 0,7$ Вт, можно определить, что дисбаланс тепла DW компенсируется испарением пота со скоростью $G = DW/L$ (г/час)

Так же как и теплоотдача с кожи в воздух конвекцией, потери за счет испарения пота могут происходить только с открытых участков поверхности тела, однако потоотделение происходит по всему телу, поэтому для определения суммарного потоотделения **G** величину **G** следует домножить на отношение площадей поверхности тела – полной $S_{пол}$ к открытой $S_{откр}$ поверхности. Имеем

$G = (S_{пол}/S_{откр}) \cdot DW/L$ (3.3.2)

Те же рассуждения, которые выше были использованы для установления при низких температурах воздуха корреляции оценки степени дискомфорта с температурой кожи, в рассматриваемом случае приводят к выводу, что при высоких температурах воздуха ощущается тем больший дискомфорт, чем большее потоотделение требуется для компенсации избытка тепловыделения **DW**. Иными словами, ощущения дискомфорта растут с ростом величины **G**, рассчитанной по формуле (3.3.2). Термины шкалы теплоощущений связываются с индексом PMV+, являющимся аналогом индекса PMV, согласно табл 3.1.2.

В соответствии с этими соображениями были проведены расчеты скорости потоотделения в воздухе различной температуры при выполнении работ с различным энерговыделением. Результаты, пересчитанные по табл. 3.1.2 в термины теплоощущений приведены на рис. 3.3.1. При расчете принималась площадь открытой поверхности равная 1 м².

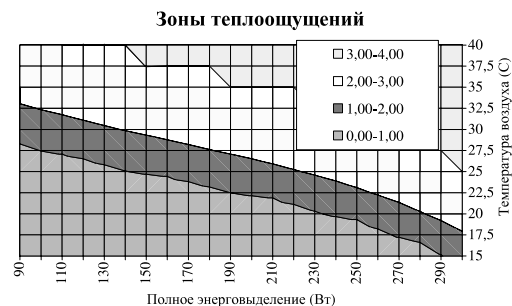


Рисунок 3.3.1.

Зона, соответствующая величинам индекса PMV+ в диапазоне 0 – 1, идентифицируется как комфортная, (детали описаны выше в § 3.2). Зона в диапазоне 1 – 2 соответствует ощущениям «тепло», а выше по температуре (с индексом в диапазоне 2 – 3) – как «жарко». В целом эти результаты совпадают с бытовыми представлениями об условиях работы в нагревающем микроклимате.

Таблица 3.3.1

Индекс PMV+ в нагревающем микроклимате

W, (Вт)	Температура воздуха (°C)						
	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35
90				0,78	1,48	1,92	2,28
100				1,02	1,61	2,03	2,36
110				1,20	1,73	2,12	2,44
120			0,43	1,35	1,84	2,21	2,52
130			0,77	1,48	1,93	2,29	2,60
140			0,98	1,60	2,02	2,37	2,67
150			1,14	1,70	2,11	2,44	2,74
160			1,28	1,80	2,19	2,52	2,81
170		0,54	1,41	1,89	2,27	2,59	2,88
180		0,80	1,52	1,98	2,35	2,66	2,95
190		1,00	1,64	2,07	2,43	2,74	
200		1,17	1,74	2,16	2,51	2,81	
210		1,32	1,85	2,25	2,59	2,89	
220	0,62	1,47	1,96	2,35	2,68	2,98	
230	0,91	1,61	2,07	2,45	2,77		
240	1,15	1,76	2,19	2,55	2,87		
250	1,36	1,90	2,31	2,66	2,97		
260	1,56	2,05	2,44	2,78			
270	1,76	2,21	2,58	2,90			
280	1,95	2,37	2,72				
290	2,15	2,54	2,87				
300	2,35	2,71					

Более подробная информация о теплоощущениях при выполнении работ различной тяжести в нагревающем микроклимате можно получить из таблицы 3.3.1. Судя по приведенным результатам, даже температура 20 – 22°C может восприниматься как «тепло» и «жарко» при выполнении достаточно тяжелой работы.

При выполнении работы с суммарным энерговыделением 100 Вт в воздухе с температурой от 30°C до 40°C возникает ощущение «жарко»; дальнейшее увеличение температуры приводит к ощущению «очень жарко». При энерговыделении 200 Вт и более ощущения «очень жарко» появляются уже при температуре более 30°C. Для того, чтобы снизить ощущения жары необходимо, например, увеличить площадь открытой поверхности тела. Для $S = 2\text{ м}^2$ (полностью открытое тело) расчеты показывают, что при выполнении работы с энерговыделением 100 Вт в воздухе с температурой до 35°C ощущения будут ближе к «тепло». Ощущения «жарко» появляются либо при выполнении работы с энерговыделением 200 Вт в воздухе с температурой от 30°C до 40°C, либо при энерговыделении 300 Вт в воздухе с температурой от 30°C до 35°C.

Дальнейшее увеличение температуры или энергозатрат приводит к ощущению «очень жарко».

3.3.2. Риск перегрева тела

До сих пор предполагалось, что организм может испарить столько влаги, сколько требуется для восстановления теплового баланса. Очевидно, что это не всегда так. Реально наиболее серьезные ограничения на скорость испарения связаны с высокой влажностью воздуха.

Скорость испарения пота определяется скоростью потовыделения и некоторыми физическими характеристиками окружающей среды, среди которых наиболее существенна относительная влажность воздуха. Скорость испарения пота зависит от разности между влажностью кожи и влажностью атмосферного воздуха. Увеличение скорости потовыделения ускоряет испарение пота при данных внешних условиях. При высокой влажности воздуха градиент влажности между кожей и воздухом уменьшается и испарение пота замедляется. Поэтому даже при очень высокой температуре воздуха и при относительно небольшой его влажности человек не испытывает таких трудностей, как при меньшей температуре воздуха но высокой влажности. Одновременное повышение температуры и влажности воздуха может приводить к чрезмерному повышению температуры тела при напряженной и продолжительной деятельности. Во время напряженной и продолжительной физической нагрузки теплопродукция в работающих мышцах в 15-20 раз превышает теплопродукцию основного обмена. Практически все образующееся в мышцах тепло передается в кровь и переносится с нею в ядро тела, повышая его температуру до 39-40° и даже более (рабочая гипертермия). Терморегуляция организма направлена в таких случаях на усиление теплоотдачи – передаче избытка тепла поверхности тела путем усиления кровообращения в сети кожных сосудов, откуда тепло отдается в окружающую среду (главным образом за счет испарения пота). Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Законы теплообмена при испарении пота с поверхности кожи подробно обсуждались в гл. 2 (п. 2.3.3). Результирующее соотношение (2.3.14) констатирует пропорциональность теплопотерь при испарении пота величине

$$\{1 - RH \cdot \exp[(t_B - t_K)/t_0]\} \quad (3.3.3)$$

Коэффициент пропорциональности потока этой величине столь велик что если содержимое фигурных скобок не слишком мало (реально это так вдали от точки росы), скорость теплопотерь при испарении влаги может достигать очень больших величин – до 1 кВт с 1 м² поверхности тела.

Хотя для обеспечения нужной скорости теплопотерь может потребоваться сильное напряжение системы потовыделения, что приведет к ощущению дискомфорта, но теплопотерь по этому каналу с избытком хватает для отвода любого количества метаболического тепла, если только этому не препятствует одежда, высокая влажность окружающего воздуха и пр.

Проблемы начинаются, если содержимое фигурных скобок в (3.3.3) становится малым, т.е. произведение $RH \cdot \exp[(t_B - t_K)/t_0]$ приближается к 1. При этом происходит существенное замедление испарения и скорость потерь тепла за счет испарения пота может оказаться недостаточной для отвода возможных излишков тепла **DW**.

На плоскости (RH, t_B) граница области возможного испарения пота изображена на рис. 3.3.2.



Рисунок 3.3.2.

При значениях температуры и влажности воздуха, соответствующих точкам под кривой на рис. 3.3.3, нет существенных препятствий для испарения пота со скоростями 0,2 – 0,5 л/час, необходимых для компенсации тепловыделения, соответствующего даже тяжелой работе. В этой области справедливы результаты п. 3.3.1 и оценки уровня дискомфорта микроклимата.

Стоит, однако, немного сместиться в область выше кривой на рис. 3.3.3, как ситуация кардинальным образом изменится. Если значения температуры и относительной влажности воздуха соответствуют точкам над кривой, никакое испарение влаги ни с поверхности кожи, ни со стенок дыхательных путей, становится невозможным. Восстановить баланс теплопроизводства и теплопотерь нельзя ни при каких обдувах или теплозащитах человека. Более того, при вдыхании влажного горячего воздуха происходит его охлаждение в дыхательных путях и, если относительная влажность вдыхаемого воздуха достаточно велика (его параметры соответствуют точкам над кривой на рис. 3.3.3), при его охлаждении начинается конденсация влаги на внутренних поверхностях дыхательных путей. В зависимости от темпера-

туры и относительной влажности вдыхаемого воздуха могут создаваться условия, когда конденсация пара происходит не только в носоглотке, но и на внутренней поверхности легких. При этом легкие наполняются конденсатом, что ведет к явлению асфиксии (удушья). Еще опаснее высвобождение большой теплоты конденсации (в обратном процессе она выступает как теплота испарения). Теперь это тепло идет на разогрев тканей в тех областях, где происходит конденсация влаги. Следствием может быть ожог и отек легких.

Принимая во внимание чрезвычайно серьезные последствия пребывания в атмосфере, соответствующей области над кривой на рис. 3.3.3, ее (эту область) можно считать областью смертельно опасных параметров микроклимата. Важно отметить, что для перехода из области сравнительно терпимых условий в область опасных для жизни параметров требуется не так много – повышения, например, относительной влажности буквально на несколько процентов. Например, при $t_B = 40^\circ\text{C}$ этот переход происходит при изменении относительной влажности с 65% до 75%, при $t_B = 50^\circ\text{C}$ опасной становится уже относительная влажность ок. 40%.

3.3.3. Риск простуды

При возникновении ощущений «очень тепло» или «жарко» люди, по возможности, стремятся создать движение воздуха (обдув тела). При этом может иметь место нежелательное переохлаждение отдельных участков тела при сохранении перегрева других. Такие сквозняки чреваты простудными заболеваниями. Для прогнозирования процента DR (Draught Rating) людей, чувствительных к сквознякам, стандарты ISO [21] – [23] предлагают определять помимо скорости воздуха V и его температуры t_B также и т.н. «локальную интенсивность турбулентности» TU, которая представляет собой отношение (выраженное в процентах) стандартного отклонения скорости воздуха к ее среднему значению. Величина DR определяется по формуле

$$DR = (34 - t_B) \cdot (V - 0,05) \cdot 0,62 \cdot (0,37 \cdot V \cdot TU + 3,14) \quad (3.3.4)$$

Здесь скорость V выражается в м/с, температура t – в $^\circ\text{C}$, DR и TU – в процентах.

§ 3.4. КОНСТРУКТИВНЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ К МИКРОКЛИМАТУ

3.4.1. Принятая выше гипотеза о роли средневзвешенной температуры кожи как основного критерия объективизации теплоощущений человека, а так же методы расчета климатических параметров, обуславливающих различные теплоощущения, позволяют ставить и решать широкий спектр задач в области гигиены труда и быта.

Дело в том, что оценка соответствия реальных показателей микроклимата требованиям нормативных документов (подробно этот процесс будет обсуждаться ниже в гл. 4), не единственная проблема в этой области. Нередки случаи, когда такое соответствие не может быть установлено по ряду причин – экономическим, технологическим, организационным и пр. Вполне возможны также ситуации, когда предписываемые параметры микроклимата будут ощущаться как дискомфортные.

Ниже дан небольшой (отнюдь не исчерпывающий) перечень задач, которые выходят за рамки простых обследований, но могут быть решены если к ним подходить творчески.

Одна из таких задач уже была описана в § 3.2. Она может быть сформулирована так: при заданных параметрах одежды, определяющих эффективную теплоизолированность человека, необходимо оценить – какие параметры микроклимата будут приводить к ощущениям комфорта, прохлады, холода и т.д. Анализ данных, приведенных в таблицах 3.2.1-3, показывает, что ответ зависит от того, каково суммарное энерговыделение $W_{\text{пол}}$, при этом изменение влагосодержания в воздухе может (при одной и той же температуре) приводить к различным теплоощущениям. Например, при работе с суммарным энерговыделением 200 Вт воздух с температурой 17°C будет создавать ощущения комфорта при влажности «12 г/м³ (табл. 3.2.1), а при влажности 5 г/м³ – восприниматься как прохладный. Можно сделать ряд аналогичных заключений из анализа данных в табл. 3.3.1, все они так или иначе связаны с прогнозом теплоощущений определенным образом одетого человека, выполняющего различные работы в среде с различной температурой и влажностью.

Близкая постановка задачи может быть такой: какова должна быть одежда человека, выполняющего определенную работу (с заданным энерговыделением) в условиях, определяемых параметрами микроклимата a_a и t_a .

3.4.2. Несколько другой тип задач возникает при необходимости компенсировать вынужденные изменения одного из параметров, определяющих теплообмен человека с окружающей средой, целенаправленными изменениями другого параметра. Строгая постановка задачи такова: пусть заданы параметры микроклимата a_a и t_a , полное энерговыделение W_{tot} , и степень теплоизолированности тела $C = (S/R)$, причем этот набор обеспечивает комфортные теплоощущения человека. Допустим, одна из переменных несколько изменилась. Как надо изменить другую переменную, чтобы вернуть прежнее теплоощущение – в конечном счете – сохранить неизменной температуру кожи t_{skin} ? Для ответа на этот вопрос достаточно ограничиться небольшими изменениями переменных, т.к. результаты расчетов (см. § 3.2) свидетельствуют, что даже небольшие изменения, например, температуры воздуха, могут существенно менять теплоощущения.

Условие теплового баланса может быть записано в виде:

$$f(\omega, a, C, t_{\text{skin}}, t) = W_{\text{term}}(\omega) - W_{\text{pulm}}(\omega, a) - C(t_{\text{skin}} - t) = 0 \quad (3.4.1)$$

Если потребовать, чтобы небольшие изменения переменных не нарушали этого условия, получим требования к дифференциальным приращениям:

$$d\omega * (\partial f / \partial \omega) + da * (\partial f / \partial a) + dC * (\partial f / \partial C) + dt * (\partial f / \partial t) = 0 \quad (3.4.2)$$

здесь, как принято, частные производные по одной из переменных берутся при условии, что остальные переменные постоянны и кроме того, считаем, что температура кожи t_{skin} неизменна (именно для этого и изменяются другие переменные). Из соотношения (3.4.2) можно подобрать требуемые величины изменения переменных.

Пусть, например, влажность воздуха изменилась на da . Если энерговыделение и степень теплоизолированности тела не изменились ($d\omega=0$, $dC=0$), то компенсировать изменение влажности воздуха da можно изменением температуры на величину dt , причем из (3.19) следует:

$$dt = -da * (\partial f / \partial a) / (\partial f / \partial t) \quad (3.4.3)$$

Подставляя сюда значения производных

$$(\partial f / \partial a) = W_p * \gamma(\omega) / a_p; (\partial f / \partial t) = C \quad (3.4.4)$$

получим

$$dt = -da * W_p * \gamma(\omega) / C * a_p \quad (3.4.5)$$

Коэффициент при приращении da в (3.4.5) знакпостоянен, следовательно, рост влажности воздуха всегда компенсируется уменьшением температуры. Так как $\gamma(\omega)$ – монотонно растущая с ω (суммарным энерговыделением) функция, то из (3.4.5) следует, что с ростом энерговыделения компенсировать одни и те же изменения влажности воздуха можно все большим изменением температуры. Количественно, если принять $C=10$ Вт/°С, $W_{\text{tot}}=200$ Вт (это соответствует $\omega \approx 1,2$, $\gamma(\omega) \approx 3$), то получим

$$(dt/da) \approx 0,15^\circ\text{C} \cdot \text{м}^3/\text{г} \quad (3.4.6)$$

Таким образом, изменяя температуру на доли градуса можно компенсировать изменение влагосодержания в воздухе в единицы г/м³.

В качестве другого примера рассмотрим возможность компенсации энерговыделения W_{tot} на величину dW_{tot} . Это соответствует изменению переменной $d\omega$ на величину dW_{tot}/W_o . Если параметры внешней среды неизменны ($da=0$, $dt=0$), то компенсировать изменение dW_{tot} можно изменением степени теплоизолированности тела dC .

Из (3.4.2) следует:

$$dC = -d\omega * (\partial f / \partial \omega) / (\partial f / \partial C) \quad (3.4.7)$$

Дифференцируя функцию f по ω и C , получим:

$$\partial f / \partial C = -Dt; \partial f / \partial \omega = W_o * (1-h) - W_{\text{pulm}} * (d\gamma/d\omega) * (1-t/t_p - a/a_p - 2 * \gamma/\gamma_p) \quad (3.4.8)$$

откуда следует:

$$dC = d\omega [W_o * (1-h) - W_{\text{pulm}} * (d\gamma/d\omega) * (1-t/t_p - a/a_p - 2 * \gamma/\gamma_p)] / Dt \quad (3.4.9)$$

При тех же условиях, которые рассматривались в предыдущей задаче, считая, что человек находится в комфортных условиях (т.е., согласно данным табл. 3.2.1 $Dt=13^\circ\text{C}$), получим соотношение $dC/d\omega \approx 4$ Вт/оС. Если, например, энерговыделение увеличилось на 50 Вт (с 200 Вт до 250 Вт), то величина $d\omega$ составляет «0,6», т.е. величина C должна возрасти на «2,5 Вт/°С – с 10 Вт/°С до 12,5 Вт/°С». Это можно реализовать либо увеличением на четверть открытой поверхности тела, либо таким же уменьшением теплосопротивления одежды.

Аналогично решаются и другие подобные задачи.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

1. В организмах млекопитающих работает множество тонких и сложных механизмов, обеспечивающих постоянство (в том числе и температурное) внутренней среды, многие из которых не поняты, большинство – не описываются сколько-нибудь обозримыми количественными моделями. Тем не менее, при изучении проблемы влияния параметров микроклимата на самочувствие и объективное состояние человека, можно отвлечься от ее физиологического содержания и ввести ее в рамки чисто физического (термодинамического) рассмотрения. Процессы теплообмена, протекающие на границе между организмом и окружающей средой достаточно хорошо поняты и описаны в различных разделах науки и техники.

2. Последовательно придерживаясь этой точки зрения, можно полагать, что эффекты теплообмена на границе организм – окружающая среда могут быть описаны только в тех терминах, которые характеризуют сами процессы теплообмена. Введение дополнительных «эффективных», «действующих», «ощущаемых» и пр. параметров неэффективно и нецелесообразно. Никакого самостоятельного значения они не

имеют и могут появляться только как вспомогательные переменные, упрощающие запись и анализ термодинамических соотношений.

3. Сравнительный анализ эффективности различных каналов теплотерм организмов показывает, что существуют две области параметров микроклимата, могущих быть условно названными «низкотемпературной» и «высокотемпературной» областями, в которых механизмы поддержания теплового гомеостаза существенно различаются.

3.1. В низкотемпературной области основная задача – не допустить переохлаждения организма. Для этого в организме повышается разность температур между внутренними областями (ядром) и приповерхностными (кожей). При необходимости температура кожи может опуститься на $\approx 10^\circ\text{C}$ по сравнению с нормальной ($\approx 34^\circ\text{C}$). Другая возможность – повышение внутреннего тепловыделения, в том числе и за счет непроизвольных мышечных сокращений (дрожь). Серьезным регулирующим фактором является изменение величины открытой поверхности кожи. Возможный обдув тела потоком воздуха со скоростями до 1 м/с слабо влияет на результирующие теплоощущения. Во всяком случае, он всегда может быть скомпенсирован уменьшением открытой поверхности. В низкотемпературной области эффекты, связанные с потоотделением и испарением пота не играют существенной роли в суммарном балансе теплопроизводства и теплотерм организма.

3.2. В высокотемпературной области основная задача – не допустить перегрева организма. Здесь теплоотдача по каналу конвективного, радиационного и подобных механизмов становится неэффективной из-за уменьшения разности температур воздуха и кожи (а для температур воздуха больших чем температура кожи теплоток меняет знак – за счет него организм нагревается). Основным механизмом терморегулирования здесь – выделение и испарение пота. Из-за большой скрытой теплоты испарения достаточно сравнительно небольшой скорости испарения, чтобы компенсировать тепловыделение даже при тяжелой физической работе. При не слишком высокой влажности воздуха такой механизм работает вплоть до температур воздуха 50°C . В высокотемпературной области, так же как и в низкотемпературной, серьезным регулирующим фактором является изменение величины открытой поверхности кожи. За счет изменения этой величины с $0,5\text{ м}^2$ до 2 м^2 можно, при температуре воздуха $30 - 35^\circ\text{C}$ изменить теплоощущения с «очень жарко» до «тепло».

3.3. На границе между низко- и высокотемпературной областями лежит зона комфорта, где теплообмен организма с окружающей средой происходит «легко» и «естественно», практически не требуя никаких отклонений от нормального функционирования (ни понижения температуры кожи, ни дополнительного потоотделения). В зависимости от интенсивности энерговыделения (тяжести физической работы) температура воздуха должна быть в интервале $16 - 24^\circ\text{C}$, практически во всем этом диапазоне условий всегда можно так подобрать площадь открытой поверхности тела, что по теплоощущениям ситуация будет восприниматься как комфортная.

4. В области высоких температур проблема поддержания теплового гомеостаза появляется при высокой влажности воздуха. При достижении влажности некоторого критического значения (см. в тексте рис. 3.3.2) никакое испарение влаги ни с поверхности кожи, ни со стенок дыхательных путей, становится невозможным. Восстановить баланс теплопроизводства и теплотерм нельзя ни при каких

обдувах или теплозащитах человека. Более того, при вдыхании влажного горячего воздуха происходит его охлаждение в дыхательных путях и, если относительная влажность вдыхаемого воздуха достаточно велика, при его охлаждении начинается конденсация влаги на внутренних поверхностях дыхательных путей. В зависимости от температуры и относительной влажности вдыхаемого воздуха могут создаваться условия, когда конденсация пара происходит не только в носоглотке, но и на внутренней поверхности легких. При этом легкие наполняются конденсатом, что ведет к явлению асфиксии (удушья). Еще опаснее высвобождение большой скрытой теплоты конденсации (в обратном процессе она выступает как скрытая теплота испарения). Теперь это тепло идет на разогрев тканей в тех областях, где происходит конденсация влаги. Следствием может быть ожог и отек легких.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 3

1. Измеров Н.Ф. (ред.) Руководство по гигиене труда. 1987. – М.: Медицина, 368.
2. Кричагин В.И. Принципы объективной оценки теплового состояния организма. – В кн. Авиационная и космическая медицина (под ред. Парина В.В.). – М. 1963. с. 310-314.
3. С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов; под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высшая школа, 1999. 448 с.
4. Гиршфельдер Дж. и др. Молекулярная теория газов и жидкостей. (пер. с англ.) М., 1961 г.
5. Голубков Б.Н., Пятачков Б.И., Романова Т.М. Кондиционирование воздуха, отопление и вентиляция: учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 232с.
6. Руководство к практическим занятиям по гигиене труда./ под ред. З.И. Израэльсона и Н.Ю. Тарасенко. – М.: Медицина, 1973. – 480с.
7. Кутаталадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367с.
8. Леонтович М.А. Введение в термодинамику, Физматгиз, М., 1952.
9. Хирс Д., Паунд Г., Испарение и конденсация, (пер. с англ.), ИИЛ, М., 1966.
10. Reynolds W.C., Perkins H.C. Engineering Thermodynamics, McGraw-Hill Book Co., 1977.
11. Навроцкий В.К. Гигиена труда, 1974 г., М., Медицина, 440 с.
12. Международные метеорологические таблицы. Обнинск, 1975
13. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л., 1984
14. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. М., 1986
15. Задачник по теплопередаче. Е.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1969. – 264с.
16. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Справочник проектировщика./под ред. И.Г. Старовойтова. – М.: Стройиздат, 1978. – 510с.
17. Тепловая изоляция. Справочное руководство. Л.М. Факторович. – Л.: Недра, 1966. – 456с.
18. Безопасность жизнедеятельности: в вопросах и ответах, задачах и решениях: учебное пособие./А.Г. Горбунов, В.И. Дьяков, В.Н. Ларионов и др. – ИГЭУ. – Иваново, 2000. – 408с.

19. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий. М.: Министерство жилищно-коммунального хозяйства, 1987.

20. Лойт А.О., Кротов Ю.А. Установление гигиенических регламентов в разных средах: Учебное пособие. – СПб. 1996 г.

ГЛАВА 4. ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ БАЗА

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Основными законодательными документами, обеспечивающими безопасность среды обитания для жизни и охрану труда в РФ являются Конституция РФ и Федеральный закон Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» №52-ФЗ от 30.03.1999 г. Основными документами, нормирующими санитарные условия труда и быта, являются Санитарные Правила и Нормы (СанПиН), вводимые и утверждаемые Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (преемница бывшей Государственной санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации).

В основе санитарной регламентации лежат исследования по частной гигиене труда и быта. В ходе этих исследований изучаются характер технологических процессов, производственного оборудования и рабочих операций, условия и характер труда, состояние здоровья и заболеваемость с временной утратой работоспособности отдельных профессиональных групп. Исследования проводятся, как правило, комплексно силами ряда специалистов: гигиенистов, профпатологов, химиков, инженеров по вентиляции, светотехников, инженеров-технологов и пр.

При гигиеническом анализе технологических процессов и оборудования особое внимание обращается на характер производственного процесса (непрерывный или сменный), степень механизации и автоматизации процессов, режим труда, возможность выделения в воздух вредных веществ, контакта кожи с агрессивными веществами, метеорологические условия, шум, вибрацию, ультразвук, наличие различных видов излучений, правильность размещения оборудования, удобство его обслуживания, состояние осветительных установок, эффективность санитарно-технических устройств и т.п.

После фиксации источников неблагоприятных производственных факторов, дается количественная характеристика вредно действующих факторов. Результаты должны полно отражать условия труда при основных рабочих операциях, технологических процессах, на рабочих местах и т.д., а не представлять собой отвлеченные величины, например среднюю величину загрязнения воздуха в помещении в целом и т.п. Для конкретизации возможного влияния условий труда следует учитывать также длительность влияния вредно действующих факторов, для чего проводится хронометраж работы на протяжении нескольких рабочих дней. Это дает возможность установить суммарную длительность воздействия их в течение рабочего дня, уточнить наиболее опасные производственные операции и трудовые процессы.

Основное внимание в исследованиях по гигиене труда уделяется установлению связи состояния здоровья и заболеваемости работающих с условиями труда. Для этого используются материалы предварительных и периодических медицинских осмотров, диспансеризации, заболеваемости с временной утратой трудоспособности, обращаемости рабочих за медицинской помощью и др. Проводятся специальные обследования здоровья, изучается уровень отдельных нозологических форм с временной утратой трудоспособности среди основных профессиональных групп. Важное значение в гигиенических исследованиях приобретает изучение динамики изменений функцио-

нального состояния организма в процессе работы (сердечно-сосудистой системы, дыхания, центральной нервной системы и др.). Эти исследования позволяют судить о воздействии существующих форм организации труда и производственной среды на организм работающих, о необходимости и путях реализации режима труда, целесообразности введения активного отдыха и других мероприятий по физиологической организации трудового процесса.

Особо остро стоит проблема сохранения здоровья в профессиональных группах работников промышленности, науки, вооружения, специалистов управленческого и диспетчерского труда, служб испытаний и спасения, от эффективности «человеческого фактора» которых зависят показатели производственных процессов, обороны, снижение количества нештатных ситуаций: аварий, пожаров, взрывов. Сюда же надо отнести летчиков, машинистов, шоферов. Труд таких людей сопряжен со стрессовыми ситуациями и высокой степенью персональной ответственности, поэтому каждый из них сам по себе и их взаимодействующее сообщество должны обеспечить такие условия на рабочих местах, чтобы сохранить их адаптационные резервы и здоровье. Современные рабочие места таких специалистов насыщены электрическими и электронными приборами, средствами оргтехники, пультами управления и средствами связи. Вся эта техника размещается рядом с сотрудником и ее излучение негативно влияет на человека. Здесь нужны специфически жесткие нормы.

Конечным результатом исследований по гигиене труда является разработка санитарных правил и норм проектирования отдельных производств и организации рабочих процессов. Согласно «Положения о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании» (утвержденном Правительством РФ 24.07. 2000г.), после выполнения процедур согласования проектов с заинтересованными ведомствами и регистрации в Министерстве юстиции, СанПиН'ы становятся нормативными документами. Их соблюдение является обязательным для граждан, индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, а за их нарушение следует дисциплинарная, административная и уголовная ответственность. Основным документом, регламентирующим гигиенические требования к микроклимату помещений, являются Санитарные нормы [1].

Логическим продолжением гигиенических исследований комплексного воздействия санитарных условий труда, характера и организации трудовых процессов на состояние здоровья и работоспособность является разработка общегосударственных технических нормативных материалов: правил по проектированию промышленных предприятий, требований к технологическим процессам и оборудованию и т.д. Конечным результатом этого процесса является разработка системы мер предотвращения возможных производственных вредностей, приводящих к острым и хроническим профессиональным заболеваниям, и условий, которые могут способствовать повышению уровня общей заболеваемости. Нормотворчество в этой области выражается, как правило, в виде Государственных Стандартов (ГОСТов) и регулируется Федеральным законом «О техническом регулировании» № 184-ФЗ от 27.12.2002 г. Применительно к рассматриваемой тематике следует указать документы [2] и [3].

Стандартизация осуществляется в целях повышения уровня безопасности жизни, здоровья граждан, а также жизни и здоровья животных и растений, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, окружающей среды, в том числе для содействия выполнению требований технических регламентов; стимулирования научно-технического прогресса; повышения конкурен-

тоспособности продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии; экономии и рационального использования ресурсов; технической и информационной совместимости; сопоставимости результатов измерений и испытаний, технических и экономико-статистических данных на международном и национальном уровнях; взаимозаменяемости продукции.

В конце цепочки нормативных документов находятся Строительные Нормы и Правила (СНиП). Применительно к рассматриваемой тематике речь идет о документах [4], [5]. Этими нормами обеспечиваются, в частности:

- а) нормируемые метеорологические условия и чистота воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых, общественных, а также административно-бытовых зданий предприятий,
- б) нормируемые метеорологические условия и чистота воздуха в рабочей зоне производственных, лабораторных и складских (далее – «производственных») помещений в зданиях любого назначения;
- в) ремонтпригодность систем отопления, вентиляции и кондиционирования;
- г) взрывопожаробезопасность систем отопления, вентиляции и кондиционирования.
- д) численность персонала по эксплуатации систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Требования СанПиН и ГОСТ выступают здесь как исходные параметры, определяющие необходимые строительнотехнические решения.

Реальная ситуация, как обычно, сложнее описанной идеальной схемы. Не все ГОСТы по безопасности труда опираются на соответствующие СанПиН'ы и наоборот – не все СанПиН'ы находят свое продолжение в ГОСТах. Причины здесь могут быть вполне объективны – нельзя, например, откладывать принятие требований к технике до того, когда будет полная ясность с гигиеной – однако сказываются и организационные и ведомственные разногласия.

§ 4.1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Современное состояние проблемы нормирования производственного микроклимата характеризуется развитием теоретических, экспериментальных и натурных исследований в области терморегуляции человека и его теплообмена с окружающей средой, разработки классификации теплового состояния и критериев его оценки, изучения влияния отдельных составляющих микроклимата и их сочетаний на функциональное состояние организма работающих и их здоровье с учетом физической активности (энерготрат), времени воздействия и теплоизоляции одежды. С позиции рассмотрения теплового состояния организма как уровня функционирования его физиологических систем, состояния гипо- и гипертермии, а также тепловой комфорт можно оценивать как различную степень напряжения механизмов терморегуляции. В задачу нормирования микроклимата в производственных помещениях входит обеспечение теплового состояния организма, при котором напряжение механизмов терморегуляции в течение рабочей смены выражено в такой степени, что оно не оказывает неблагоприятного влияния на самочувствие человека, его работоспособность и здоровье.

Методические подходы и критерии, определяющие «оптимальные уровни» и «допустимые пределы колебаний» факторов внешней среды, различны. Однако, не

только «оптимальные» но и «допустимые» параметры должны обеспечивать состояние организма, далекое от патологии. Оно определяется в зоне «существенных, но обратимых физиологических изменений». Различие в состоянии организма при воздействии тех или иных параметров ("оптимальных" или «допустимых») заключается лишь в способах сохранения температурного гомеостаза, то есть в степени напряженности функциональных систем.

Длительное воздействие комплекса метеорологических условий, светового и ультрафиолетового режимов атмосферы, характерных для каждого сезона года и климатических условий местности, создает особый стереотип реакций организма, связанный с адаптацией и акклиматизацией человека к определенным условиям среды обитания. Это новое состояние определяет различия в характере ответных реакций людей, постоянно проживающих в условиях холодного, умеренного или жаркого климата, на одинаковые термические воздействия среды, на одинаковую световую обстановку.

Изменяется стереотип реакции организма и под влиянием циклических годовых изменений радиационного баланса земли, температуры и влажности воздуха. Эти ритмические сезонные колебания физиологических функций и сдвиги акклиматизационного характера должны учитываться при нормировании микроклиматических факторов помещений.

Гигиенические требования и нормы в области микроклимата должны быть направлены не только на охрану здоровья людей от неблагоприятных метеорологических факторов и профилактику заболеваний, но и на создание оптимальных условий для отдыха и восстановления творческих сил человека.

"Норма" должна обеспечивать оптимальное тепловое состояние организма, которое характеризуется благоприятным течением всех жизненных функций при незначительном напряжении функциональных систем. В то же время гигиеническое нормирование не может быть ограничено установлением «оптимальных», «нормальных» параметров отдельных факторов. Одновременно должны быть определены «допустимые» границы их колебаний. Это положение правомерно в отношении любых элементов внешней среды. Так, значение допустимых пределов колебаний температуры, влажности и подвижности воздуха позволяет грамотно подбирать одежду человека, возможную длительность пребывания его в неблагоприятных условиях помещений и открытой атмосферы, применение специальных санитарно-технических систем в жилых и общественных зданиях.

В определение комфорта, как одно из условий, входит приятное теплоощущение человека, поскольку роль субъективной оценки микроклимата велика. Однако, считать ее достаточной для суждения о степени комфорта было бы неправильно. При определении теплового комфорта должны учитываться как субъективные, так и объективные показатели теплового состояния. Иначе говоря, при гигиенической оценке факторов микроклимата и их влияния на организм, необходимо исходить из одновременного учета и сопоставления как инструментальных измерений каждого из метеорологического факторов, так и данных о физиологических терморегуляторных реакциях человека на изменение комплекса метеорологических условий.

Микроклимат помещений оценивается по следующим показателям, для каждого из которых установлены оптимальные уровни и допустимые пределы колебаний с учетом их комплексного действия на организм человека:

- температура воздуха;

- подвижность воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- радиационный режим помещений, который определяется температурой ограждающих поверхностей.

Нормируемые параметры микроклимата должны гарантировать сохранение здоровья и работоспособности даже человеку с пониженной переносимостью колебаний факторов окружающей среды. При этом следует учитывать также большое влияние одежды на тепловое состояние человека в условиях, близких к комфортным. Это обстоятельство позволяет не стремиться обязательно к установлению чрезмерно точных параметров, поскольку неизбежные индивидуальные колебания могут быть легко скомпенсированы путем соответствующего приспособления одежды.

При формулировке требований к микроклимату необходимо принимать во внимание также целый ряд других факторов, обуславливающих теплообмен и тепловое состояние человека. Некоторые из них также следует регламентировать. Например, при разработке нормативных требований к производственному микроклимату принимается во внимание следующее:

- наличие одежды, имеющей термическое сопротивление $0,8 - 1,0 \text{ Кло}$ ($1 \text{ Кло} = 0,155 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$) применительно к холодному и $0,5 - 0,6 \text{ Кло}$ – теплому периоду года;
- продолжительность пребывания на рабочих местах – 8 часов;
- в течение всей рабочей смены тепловое состояние работающих должно сохраняться на оптимальном и/или допустимом уровне;
- составляющие микроклимата (температура, скорость движения воздуха, его влажность, тепловое излучение) не должны оказывать неблагоприятное влияние на функциональное состояние человека, его здоровье, а также ухудшать состояние воздушной среды;
- допустимые и оптимальные параметры микроклимата устанавливаются с учетом среднесменного уровня энерготрат;
- на рабочих местах с ограниченным временем пребывания тепловое состояние рабочих может быть допустимым или предельно-допустимым при условии, что среднесменные (за 8 часов) показатели теплового состояния будут соответствовать допустимым.

Несколько иные принципы закладываются при нормировании микроклиматических параметров жилья. В рационально построенном жилище при разных системах отопления (конвекционное, лучистое) степень теплового комфорта может быть также различной в связи с изменением условий, а, следовательно, и роли отдельных каналов теплоотдачи, хотя тепловой баланс при этом может быть и не нарушен. Относительно широкая биологическая приспособляемость человека исключает необходимость устанавливать узкий стандарт теплового комфорта для всех людей и при всех условиях. Однако, для определенной группы населения при соответствующих условиях покоя или активности такие стандарты можно установить, имея в виду задачи гигиенического нормирования, рассчитанного на «среднего» человека. При разных климатических условиях и в те или иные сезоны года уровень такого стандарта будет различен для мужчин и женщин, особенно для стариков и детей и вообще лиц с ослабленной функцией терморегуляции. Следовательно, при разработке «стандартов» теплового комфорта в условиях жилища, должны учитываться и пределы физиологических возможностей приспособления определенных групп населения.

При нормировании климатических факторов жилища принимается, что сохранение единой, универсальной для всех климатических районов нормы температуры воздуха в жилище в зимний период нельзя считать научно подтвержденной. Обоснован принцип дифференцированного нормирования температуры в жилых помещениях в зимний период года в зависимости от климатических условий и установка конкретных параметров соответствующих температур: для северных районов 21-22 °С, для зоны умеренного климата 18-20 °С, для южных широт 17-18 °С. Учитывая, что детское население, люди пожилого возраста, а также лица с функциональной недостаточностью сердечно-сосудистой системы отличаются меньшей эффективностью терморегуляторного аппарата и, как правило, нуждаются в холодный период года в повышенной температуре в жилище, практически нормативы следует ориентировать на верхний уровень температурных параметров. Соответственно, основными принципами гигиенического нормирования параметров климата в помещениях жилых и общественных зданий являются:

а) гигиеническое нормирование дифференцированных величин оптимальных и допустимых параметров микроклимата, учет суточной и сезонной ритмики колебаний физиологических функций, а также акклиматизации человека к определенным климатическим поясам;

б) дифференцированное нормирование параметров микроклимата в отношении возрастных групп населения;

в) учет при гигиеническом нормировании оптимальных и допустимых параметров микроклимата, уровня энерготрат (активности) и теплозащитных показателей одежды соответствующих групп населения.

Следует также отметить (см. подробнее гл.3, обсуждение индекса PDD в п.3.1.2), что в связи с индивидуальным характером терморегуляторных реакций человека, обусловленных, например, полом, возрастом, весом и др., практически оптимальные параметры микроклимата окажутся таковыми лишь для 90% лиц. При этом данные условия 5% лиц будут оцениваться «слегка тепло» и 5% – «слегка прохладно». Однотипность ответов несколько уменьшается при крайних значениях диапазона составляющих микроклимата. Имеется лишь очень узкий температурный диапазон, который может оцениваться как комфортный 95% лиц.

С этих позиций под определением понятия комфорта следует понимать такие метеорологические условия, когда при субъективно хорошем теплоощущении тепловое равновесие организма обеспечивается без напряжения терморегуляторного аппарата и физиологические сдвиги не выходят за пределы колебаний, обычных у людей данного коллектива. При соблюдении этих условий протекание всех остальных физиологических функций происходит на уровне наиболее благоприятном для отдыха и восстановления сил организма после предшествовавшей рабочей нагрузки. Под термином «тепловой комфорт» понимаются метеорологические условия, обеспечивающие оптимальный уровень физиологических функций, в том числе и терморегуляторных. Именно метеорологические параметры теплового комфорта служат гигиенической «нормой».

Задача нормирования микроклимата заключается в определении границ каждого из его параметров и регламентации других факторов, обуславливающих теплообмен человека с окружающей средой и его тепловое состояние. Поскольку теплообмен человека определяется комплексом параметров микроклимата, задача нормирования и

ее сложность заключается в выборе адекватного информативного интегрального показателя, в определении нижних и верхних границ каждой составляющей микроклимата. В настоящее время предложено свыше 60 методов суммарной оценки показателей микроклимата, в основу которых положен расчет теплообмена человека с окружающей средой [6]. Некоторые из них уже в течение многих лет широко используются зарубежными и отечественными исследователями. В настоящее время в международных стандартах (ISO) представлен ряд интегральных методов. В ISO 7730 [7] изложен метод оценки «умеренных» и «комфортных» температурных условий, который базируется на необходимости обеспечения теплового баланса человека с учетом комплекса факторов его обуславливающих (температура, влажность воздуха, скорость его движения, средняя радиационная температура, одежда, физическая активность). Подробнее этот вопрос обсуждается ниже в ' 4.6.

Оценивая положительно описанный выше (в главах 2 и 3) метод интегральной оценки целого комплекса показателей, обуславливающих теплообмен, следует все же подчеркнуть относительность такой оценки «комфортности», которая базируется лишь на обеспечении теплового баланса организма и поддержания средневзвешенной температуры кожи, субъективно оцениваемой как тепловой комфорт. Близки к этому является вопрос о возможности компенсации воздействия одного из компонентов микроклимата другим. Такая компенсация может быть осуществлена лишь в известных пределах, так как сохранение теплового баланса и обеспечение теплового комфорта человека не являются единственными требованиями и единственным критерием оценки микроклиматических условий. Например, тепловой комфорт в холодный период года мог бы быть обеспечен путем увеличения термического сопротивления одежды и эквивалентного снижения температуры воздуха в производственных помещениях. Однако, такой микроклимат навряд ли можно охарактеризовать как оптимальный, так как увеличение в этом случае термического сопротивления одежды может быть причиной наступления более раннего утомления человека и снижения его работоспособности вследствие увеличения энергии на выполнение одной и той же работы из-за увеличения веса спецодежды и ограничения движений.

Это касается и таких параметров микроклимата как влажность воздуха и тепловое излучение. С нормированием этих параметров также связан ряд проблем. Обнаруженная относительная субъективная нечувствительность человека к лучистому теплу и отрицательной радиации имеет весьма важное значение с точки зрения нормирования и оценки этого параметра, а также использования теплового излучения в целях профилактики охлаждения и перегрева человека. Впервые вопрос о физиологических механизмах этого явления был поставлен в работе [8]. На основании проведенных исследований показано, что имеет место слабая реакция терморецепторов кожи на радиационный нагрев и охлаждение, что, возможно, связано с трансформацией теплового излучения в более глубоких слоях кожи, в которых плотность терморецепторов существенно ниже, чем на ее поверхности. Однако, этот факт затрудняет оценку и нормирование этого параметра на основании субъективной оценки теплового состояния организма и ставит во главу угла его объективные показатели, особенно такие как средняя температура тела. Полученные данные [9] свидетельствуют о возможном изменении биохимических показателей, выходящих за пределы физиологических колебаний, о наличии деструкции молекул белка в тканях, накоплении продуктов перекисного окисления липидов. Все это может способствовать формированию патологичес-

ких реакций, проявляющихся в нервно-психических расстройствах, ишемической болезни сердца, поражении сосудов мозга. Нормирование влажности воздуха также обусловлено не только влиянием ее на теплообмен человека с окружающей средой, но и значимостью в обеспечении должного уровня влажности кожи человека, слизистых глаз и верхних дыхательных путей. Установление нижней границы влажности диктуется и общегигиеническими задачами: «сухой» воздух способствует увеличению бактериальной и химической загрязненности среды (например, за счет увеличения испарения и летучести химических веществ).

§ 4.2. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ НОРМИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОКЛИМАТА

4.2.1. Характеристики теплового состояния человека

Тепловое состояние человека по степени напряжения реакций терморегуляции, влияния на показатели работоспособности и здоровья подразделяется на оптимальное, допустимое, предельно-допустимое, недопустимое. Физиологические основы такой классификации обсуждались в гл. 1.

Оптимальное тепловое состояние человека характеризуется отсутствием общих и/или локальных дискомфортных теплоощущений, минимальным напряжением механизмов терморегуляции, оцениваемым по показателям и критериям, представленным в табл. 4.3.1, и является предпосылкой длительного сохранения высокой работоспособности.

Допустимое тепловое состояние человека характеризуется незначительными общими и/или локальными дискомфортными теплоощущениями, сохранением термостабильности организма в течение всей рабочей смены при умеренном напряжении механизмов терморегуляции, оцениваемом по показателям и критериям, представленным в табл. 4.3.2 и табл. 4.3.3. При этом может быть временное (в течение рабочей смены) снижение работоспособности, но не нарушается здоровье (в течение всего периода трудовой деятельности).

Предельно-допустимое тепловое состояние человека характеризуется выраженными общими и/или локальными дискомфортными теплоощущениями, значительным напряжением механизмов терморегуляции, оцениваемым по показателям и критериям, выходящим за пределы представленные в табл. 4.3.2. Оно не гарантирует сохранение термического гомеостаза и здоровья, ограничивает работоспособность.

Недопустимым является тепловое состояние, характеризующееся чрезмерным напряжением механизмов терморегуляции, приводящим к нарушению состояния здоровья.

4.2.2. Характеристики климата (см.[3])

По степени влияния на самочувствие человека, его работоспособность микроклиматические условия подразделяются на оптимальные, допустимые, вредные и опасные.

Оптимальные микроклиматические условия характеризуются такими параметрами микроклимата, которые при их сочетанном воздействии на человека в течение рабочей смены обеспечивают сохранение теплового состояния организма, характеризу-

ющегося минимальным напряжением терморегуляции, отсутствием общих и/или локальных дискомфортных теплоощущений и являются предпосылкой сохранения высокой работоспособности. Оптимальный микроклимат обеспечивает оптимальное тепловое состояние организма человека.

Допустимые микроклиматические условия характеризуются такими параметрами показателей микроклимата, которые при их сочетанном действии на человека в течение рабочей смены могут вызывать изменение теплового состояния, которое приводит к умеренному напряжению механизмов терморегуляции, незначительным дискомфортным общим и/или локальным теплоощущениям. При этом сохраняется относительная термостабильность, может иметь место временное (в течение рабочей смены) снижение работоспособности, но не нарушается здоровье (в течение всего периода трудовой деятельности). Допустимыми являются такие параметры микроклимата, которые при их совместном действии на человека обеспечивают допустимое тепловое состояние организма.

Вредные микроклиматические условия – параметры микроклимата, которые при их сочетанном действии на человека в течение рабочей смены вызывают такие изменения теплового состояния организма, которые характеризуются выраженными общими и/или локальными дискомфортными теплоощущениями, значительным напряжением механизмов терморегуляции, снижением работоспособности. При этом не гарантируется термостабильность организма человека и сохранение его здоровья в период трудовой деятельности и после ее окончания. Сказанное означает, что вредными являются параметры микроклимата, которые при их совместном действии на человека в течение всей рабочей смены приводят к формированию предельно допустимого теплового состояния человека. При этом степень вредности микроклимата определяется как величинами его составляющих, так и продолжительностью их воздействия на работающих (непрерывно и суммарно за рабочую смену, период трудовой деятельности).

Экстремальные (опасные) микроклиматические условия – те параметры микроклимата, которые при их сочетанном действии на человека даже в течение непродолжительного времени (менее одного часа) вызывают изменение теплового состояния, характеризующееся чрезмерным напряжением механизмов терморегуляции, которое может привести к нарушению состояния здоровья и возникновению риска смерти. Критериальные показатели теплового состояния человека, соответствующие пределу переносимости им внешней термической нагрузки, зависят от многих причин, и, в частности, от степени адаптации, скорости охлаждения или перегрева, тепловой устойчивости организма, возраста, пола и т.д. В связи с этим микроклимат, в котором возможно кратковременное пребывание в целях осуществления определенной деятельности в аварийной ситуации, должен регламентироваться применительно к конкретному контингенту лиц. В том случае, если человек работает в тех или иных метеорологических условиях не всю рабочую смену, а лишь эпизодически, то степень его перегрева или охлаждения за этот отрезок времени допускается большей (до предельно допустимого) с учетом длительности воздействия, то есть параметры микроклимата могут быть выше или ниже соответственно верхней и нижней границы допустимых.

4.2.3. Климатические зоны

Разная «настройка» терморегуляторного аппарата человека должна также учитываться при разработке вопроса о комфортных температурных условиях в разных клима-

тических районах. Многообразие климатических условий в Российской Федерации исключает возможность установления единых нормативов для всей территории страны и требует их дифференцирования применительно к отдельным климатическим районам.

В холодном климатическом районе, характеризующимся большей суровостью (продолжительность зимнего периода с низкими температурами доходящими до -45°C и ниже), организм человека часто подвергается, даже при кратковременном пребывании на открытом воздухе, резкому воздействию низких температур. В этих условиях организм быстро и резко переохлаждается. Поддержание теплового равновесия требует значительного напряжения терморегуляторных механизмов. Для быстрой нормализации теплового состояния в условиях жилища требуется повышенная температура помещения.

В теплом и особенно в жарком климатических районах зимой организм человека не испытывает столь резкого охлаждения на открытом воздухе, вместе с тем здесь большое значение имеет постоянное воздействие лучистой энергии, являющейся мощным тепловым фактором, значительно ослабляющим холодное различие организма. В соответствии с этим и требования организма к температуре воздуха в помещении в этих районах (зимой) значительно выше.

Следует учесть также большое значение в данных конкретных условиях среды «настройки» организма, выработанной в процессе индивидуального развития и приспособления его к местным условиям (вопрос об адаптации организма обсуждался в гл. 1). В южных широтах более низкие температуры среды оказываются в зоне теплового комфорта, тогда как на севере эта зона, наоборот, передвигается в область высоких температур в связи с различной «установкой» центров терморегуляции. Замедление в восстановлении температуры на открытых и, особенно на закрытых частях тела, где сосудистая реакция отличается вялостью, является причиной длительного ощущения зябкости после охлаждения. При более высокой температуре в помещении на севере восстановление температур на открытых и закрытых частях тела после охлаждения происходит гораздо быстрее, чем и обуславливает лучшее самочувствие человека. Предпочтение на севере более высокой температуры в жилище соответствует потребностям организма и является отражением физиологических закономерностей восстановления кожной температуры после охлаждения. Более высокая температура в жилище холодного климатического района, где население часто подвергается длительному воздействию холода (вне жилища), является с гигиенической точки зрения рациональной и имеет свое физиологическое обоснование.

4.2.4. Сезоны (периоды года)

В действующих нормативных документах признано целесообразным дифференцировать требования к микроклимату жилых и производственных помещений по сезонам (периодам года). С зимним сезоном связано некоторое повышение интенсивности обмена веществ, усиление сосудистых реакций на охлаждение, более быстрое наступление сдвигов при соответствующих условиях окружающей среды. Для летних условий характерно некоторое снижение обмена, повышение кожной температуры, ускорение потоотделительной реакции

Следует отметить, что в различных документах определения теплого и холодного периодов различаются. Так, в ГОСТе [2] (требования к воздуху рабочей зоны) теплый период от холодного отличается среднесуточной температурой (граница при температуре $+10^{\circ}\text{C}$). В ГОСТе [3] (здания жилые и общественные) граница среднесуточных темпера-

тур холодного и теплого периодов установлена в $+8^{\circ}\text{C}$. В санитарных нормах [1] определено, что «измерения показателей микроклимата в целях контроля их соответствия гигиеническим требованиям должны проводиться в холодный период года – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней температуры наиболее холодного месяца зимы не более чем на 5°C , в теплый период года – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней максимальной температуры наиболее жаркого месяца не более чем на 5°C .» Информацию об этом показателе погоды можно получить в территориальных органах метеослужбы. Частота измерений в оба периода года определяется стабильностью производственного процесса, функционированием технологического и санитарно-технического оборудования.

При разработке нормативных требований к производственному микроклимату было принято во внимание наличие одежды, имеющей термическое сопротивление 0,8 – 1,0 Кло применительно к холодному и 0,5 – 0,6 Кло – теплomu периоду года.

4.2.5. Тяжесть труда (см. [2]).

Для сотрудников, находящихся в обследуемом помещении устанавливаются категории работ. Тяжесть работ определяется общими энергозатратами организма (измеряются в Вт). Эта величина совпадает с введенным в гл. 2 полным энерговыделением $W_{\text{пол}}$. Характеристику производственных помещений по категориям выполняемых в них работ в зависимости от затраты энергии следует производить в соответствии с ведомственными нормативными документами, исходя из категории работ, выполняемых 50% и более работающих в соответствующем помещении.

Легкие физические работы (категория I). Виды деятельности с расходом энергии не более 174 Вт.

- Категория Ia – энергозатраты до 139 Вт: работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо-и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т.п.).

- Категория Ib – энергозатраты 140-174 Вт: работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т.п.)

Средней тяжести физические работы (категория II). Виды деятельности с расходом энергии в пределах 175-290 Вт.

- Категория IIa – энергозатраты от 175 до 232 Вт: работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механо-сборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и т.п.).

- Категория IIб – энергозатраты от 233 до 290 Вт: работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных кузнечных, термических, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т.п.).

Тяжелые физические работы (категория III). Виды деятельности с расходом энергии более 290 Вт. Сюда относятся работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие

больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной работой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок машиностроительных и металлургических предприятий и т.п.).

Следует отметить, что указанная классификация тяжести труда приведена в ГОСТе [2], причем здесь она служит для классификации производственных помещений, что естественно для документа, определяющего технические требования к рабочим местам. В дальнейшем она была принята в санитарных нормах [2], уже безотносительно к классификации помещений – именно как характеристика активности человека.

4.2.6. Виды помещений (см. [1] и [3])

Согласно [1], производственные помещения – замкнутые пространства в специально предназначенных зданиях и сооружениях, в которых постоянно (по сменам) или периодически (в течение рабочего дня) осуществляется трудовая деятельность людей.

Рабочее место – участок помещения, на котором в течение рабочей смены или части ее осуществляется трудовая деятельность. Рабочим местом может являться несколько участков производственного помещения. Если эти участки расположены по всему помещению, то рабочим местом считается вся площадь помещения.

Требования ГОСТа [3], распространяются на помещения с постоянным пребыванием людей в зданиях жилых и общественных, в которых люди находятся не менее 2 ч непрерывно или 6 ч суммарно в течение суток. При этом различают следующие категории помещений:

Помещения 1 категории – помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха.

Помещения 2 категории – помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебой.

Помещения 3а категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды.

Помещения 3б категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде.

Помещения 3в категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды.

Помещения 4 категории – помещения для занятий подвижными видами спорта.

Помещения 5 категории – помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т.п.).

Помещения 6 категории – помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые).

§ 4.3. НОРМЫ, СТАНДАРТЫ, ПРАВИЛА

4.3.1. Оптимальные и допустимые условия.

Санитарные правила устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энерготрат работающих, времени выполнения работы, периодов года. Показатели микроклимата

та должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно – эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.). Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл.4.3.1, применительно к выполнению работ различных категорий тяжести в холодный и теплый периоды года.

Вообще говоря, работы операторского типа относятся к категории работ Ia (см. выше §4.2) и в табл. 4.3.1 информативны только первые строчки для холодного и теплого периодов года, однако по отдельным отраслям промышленности, согласованно с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора, могут быть приняты специальные перечни рабочих мест и видов работ, при которых должны обеспечиваться оптимальные величины микроклимата. Для этих случаев следует руководствоваться и остальными нормами, приведенными в табл. 4.3.1.

Таблица 4.3.1.
Оптимальные нормы микроклимата на рабочих местах
производственных помещений [СанПиН 2.2.4.548-96]

Период года	Категория работ (по уровню энерготрат), Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, не более, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
	Iб (140 – 174)	21 – 23	20 – 24	60 – 40	0,1
	IIa (175 – 232)	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
	IIб (233 – 290)	17 – 19	16 – 20	60 – 40	0,2
	III (более 290)	16 – 18	15 – 19	60 – 40	0,3
Теплый	Ia (до 139)	23 – 25	22 – 26	60 – 40	0,1
	Iб (140 – 174)	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
	IIa (175 – 232)	20 – 22	19 – 23	60 – 40	0,2
	IIб (233 – 290)	19 – 21	18 – 22	60 – 40	0,2
	III (более 290)	18 – 20	17 – 21	60 – 40	0,3

Нормативные требования к показателям оптимального микроклимата применительно к теплому и холодному периодам года приведены в табл. 4.3.1 [1]. Их сочетанное действие обеспечивает оптимальное тепловое состояние человека в течение 8-часовой рабочей смены.

Как правило, особенности технологии производства, технические трудности и большие экономические затраты не позволяют обеспечить оптимальные величины параметров микроклимата на рабочих местах, на которых выполняются работы средней тяжести и тяжелые. Для таких рабочих мест устанавливаются допустимые значения параметров микроклимата, т.е. такие при которых тепловое состояние работников

сохранится на допустимом уровне в течение 8-часовой рабочей смены. Величины показателей микроклимата, обеспечивающие допустимое тепловое состояние работающих на рабочих местах, приведены в табл.4.3.2 [1].

В связи с тем, что в качестве допустимых принимаются температуры выше 25°C, следует иметь в виду, что влажность воздуха при высокой его температуре может оказывать существенное влияние на тепловое состояние работающих (см. гл. 3). Это обстоятельство потребовало введения ограничений на влажность воздуха применительно к конкретной температуре воздуха. Согласно [1], максимальные величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

- 70% – при температуре воздуха 25°C,
- 65% – при температуре воздуха 26°C,
- 60% – при температуре воздуха 27°C,
- 55% – при температуре воздуха 28°C.

Таблица 4.3.2.

Допустимые нормы показателей микроклимата
на рабочих местах производственных помещений
[СанПиН 2.2.4.548-96]

	W _{пол}	t _{возд} , °C		t _{пов} , °C	RH, %	V _{возд} , м/с	
		t _{возд} < t _{опт}	t _{возд} > t _{опт}			t _{возд} < t _{опт}	t _{возд} > t _{опт}
Хол.	Ia	20,0 – 21,9	24,1 – 25,0	19,0 – 26,0	15 – 75	0,1	0,1
	Iб	19,0 – 20,9	23,1 – 24,0	18,0 – 25,0	15 – 75	0,1	0,2
	IIa	17,0 – 18,9	21,1 – 23,0	16,0 – 24,0	15 – 75	0,1	0,3
	IIб	15,0 – 16,9	19,1 – 22,0	14,0 – 23,0	15 – 75	0,2	0,4
	III	13,0 – 15,9	18,1 – 21,0	12,0 – 22,0	15 – 75	0,2	0,4
Теп.	Ia	21,0 – 22,9	25,1 – 28,0	20,0 – 29,0	15 – 75	0,1	0,2
	Iб	20,0 – 21,9	24,1 – 28,0	19,0 – 29,0	15 – 75	0,1	0,3
	IIa	18,0 – 19,9	22,1 – 27,0	17,0 – 28,0	15 – 75	0,1	0,4
	IIб	16,0 – 18,9	21,1 – 27,0	15,0 – 28,0	15 – 75	0,2	0,5
	III	15,0 – 17,9	20,1 – 26,0	14,0 – 27,0	15 – 75	0,2	0,5

Для более наглядного представления требований по температуре воздуха и поверхностей, содержащихся в табл. 4.3.1-2, ниже они изображены графически на рис. 4.3.1-4. Нормы на температуру воздуха для холодного периода года изображены на рис. 4.3.1. прямоугольниками с заливкой различной интенсивности.



Рисунок 4.3.1.

В центрах диапазонов допустимых температур воздуха более темная заливка отмечает оптимальные температуры. Видно, что разброс допустимых температур растет с ростом тяжести труда, в то время как оптимальные температуры всегда ограничены диапазоном 2°C.

Для теплого периода года соответствующие данные приведены на рис. 4.3.2. Сопоставление данных на этих рисунках показывает, что в теплый период года допускается больший разброс допустимых температур, причем, так же как и для холодного периода, этот разброс растет с ростом тяжести труда.

Для исключения отрицательного воздействия на человека одновременного влияния различных температур воздуха и ограждающих поверхностей (стены, пол, защитные экраны и пр.), последние также нормируются, соответствующие результаты изображены графически на рисунках 4.3.3 и 4.3.4, аналогично результатам для воздуха.

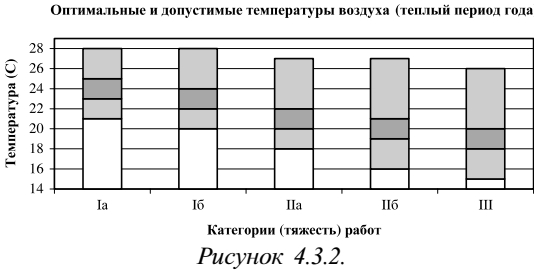


Рисунок 4.3.2.

Во избежание охлаждения или перегрева работающих – за счет теплового излучения от внутренних поверхностей конструкций (стены, потолок, пол), поверхностей технологического оборудования (или его охлаждающих устройств) – нормируется их температура, которая не должна выходить более чем на 2°C за пределы оптимальных величин температуры воздуха. При этом рабочие места должны располагаться от них на расстоянии не менее 1 метра.

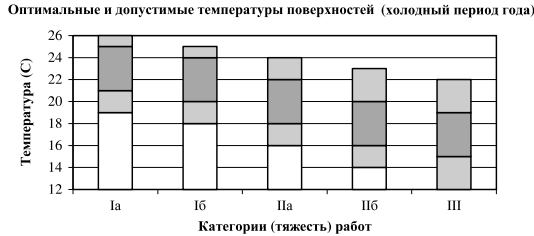


Рисунок 4.3.3

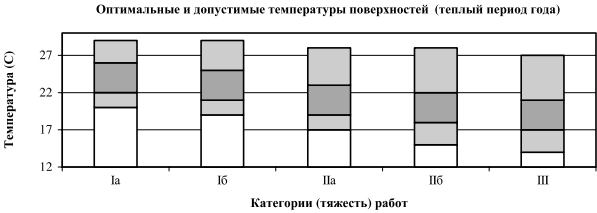


Рисунок 4.3.4

Ограничения на относительную влажность воздуха не зависят от тяжести работы, но отличаются для холодного и теплого периодов года. Соответствующие результаты графически представлены на рис. 4.3.5-6.

Оптимальные и допустимые значения относительной влажности (холодный период года)

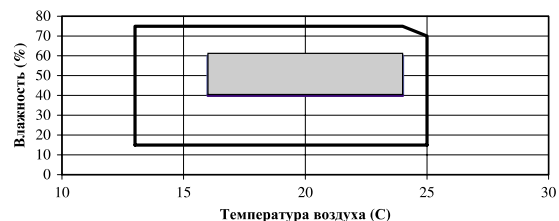


Рисунок 4.3.5

Допустимые значения влажности очерчены на рис. 4.3.5 ломаной линией, а оптимальные представлены затитым прямоугольником в центре допустимых значений. Относительная влажность воздуха в диапазоне 40-60%, с одной стороны, препятствует той степени увлажнения воздуха, прилегающего к поверхности кожи, которая приводит к возникновению чувства «духоты», а с другой – (нижняя граница) не приводит к возникновению сухости слизистых дыхательных путей и увеличению бактериальной обсемененности воздушной среды, химического загрязнения. Для теплого периода года аналогично построен рис. 4.3.6.

Оптимальные и допустимые значения относительной влажности (теплый период года)

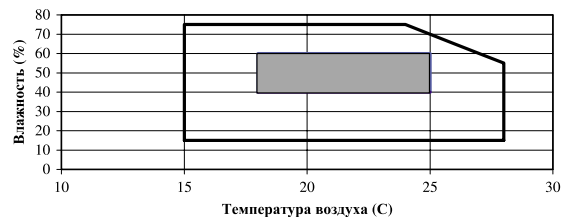


Рисунок 4.3.6

Сопоставление данных на рис.4.3.5 и 6, показывает, что в теплый период года и оптимальные и допустимые температуры сдвигаются в область высоких температур, но требования на влажность практически не меняются. Несколько более серьезные ограничения на влажность воздуха в теплый период ("скос" границы в правом верхнем углу) связаны именно с этим сдвигом температурного диапазона.

На рис. 4.3.7 приведены в графическом виде нормативы на допустимую скорость движения воздуха в рабочей зоне в зависимости от температуры воздуха и уровня энергозатрат. Видно, что с ростом энергозатрат допускается все большая скорость воздуха при одновременном уменьшении его температуры. При тяжести труда, соответствующей категории III, скорость обдува может достигать до 0,5 м/с (допустимые

значения). При этом скорость движения воздуха, соответствующая верхней ее границе, не вызывает жалоб на «дутье», локальное охлаждение и др. Данная скорость движения воздуха практически не увеличивает загрязнение воздушной среды за счет «взмывания» пыли.

Допустимые скорости движения воздуха (холодный период)

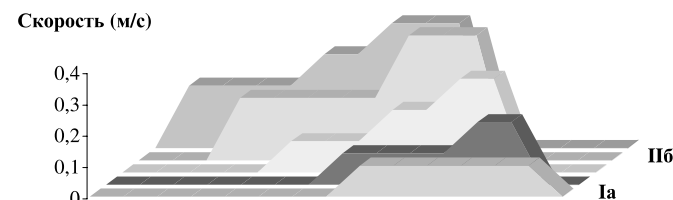


Рисунок 4.3.7

Для теплого периода результат аналогичен (см. рис. 4.3.8).

Допустимые скорости движения воздуха (теплый период)

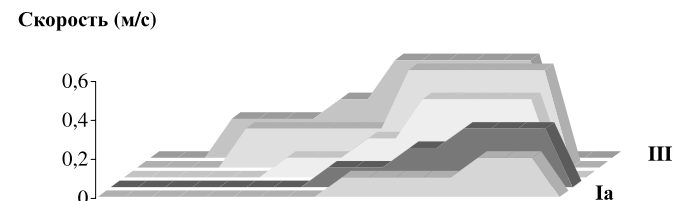


Рисунок 4.3.8

Для теплого периода характерны большие допустимые температуры и большие скорости движения воздуха (допустима скорость 0,5 м/с для работы категории II). Следует отметить, что для теплого периода при повышении температуры на рабочем месте выше 26°C скорость потока воздуха ограничивается снизу – она не должна быть меньше 0,1 м/с для работ категории I, и не меньше 0,2 м/с для работ категории II. Формально это ограничение действует и для работ категории III, однако для них температура воздуха выше 26°C недопустима (см. табл. 4.3.2).

В целях обеспечения условий равномерной теплоотдачи с поверхности тела человека, предупреждения локального охлаждения или перегрева параметры микроклимата нормируются и по высоте. При этом во избежание нарушения общего теплового баланса организма перепады температуры воздуха по высоте не должны в течение рабочей смены выходить за пределы оптимальных, а подвижность воздуха на любой высоте (в пределах 2 метров) – превышать максимальные значения оптимальных величин. Следует отметить, что наибольшей чувствительностью к подвижности воздуха обладает задняя поверхность шеи, затылочная область и область лодыжек. В связи с этим при контроле подвижности воздуха следует обращать внимание и на преимущественную локализацию его воздействия. Наиболее оптимальным является равномерный обдув поверхности тела человека.

При нормировании допустимого микроклимата предполагается возможность наличия на рабочих местах теплового излучения, причем такой интенсивности, которая, во-первых, не приводит к формированию теплового состояния человека, превышающего верхние границы его допустимого уровня, а, во-вторых, не оказывает локального перегрева работающих. При этом предполагается, что человек может работать как без специальных средств защиты, так и при их использовании.

Принимая во внимание, что тепловой и нетепловой эффекты воздействия теплового излучения зависят от длины волны, облучаемой доли поверхности тела человека, степени его защиты, в [1] приведены дифференцированные нормы. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 4.3.3.

Таблица 4.3.3.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25 – 50	70
не более 50	100

Допустимые же величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, плазма и др.), не должна превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

В целях предупреждения перегрева выше допустимого уровня при тепловом облучении работающих температура воздуха на рабочих местах должна быть ниже верхней границы допустимой. Эквивалентная температурная поправка при облучении 50% поверхности тела человека составляет 0,30°C на каждые 10 Вт/м² излучения на рабочем месте, при облучении всей поверхности – 0,60°C.

Таким образом, чтобы тепловое состояние человека оставалось на верхней границе допустимого уровня в течение рабочей смены при тепловом облучении, составляющим 100 Вт/м², верхняя граница температуры воздуха должна быть снижена на 2,1°C. Это и предусмотрено в СанПиН 2.2.4.548-96, регламентирующим температуру воздуха на рабочих местах при наличии теплового излучения на уровне, не превышающем верхней границы оптимальных значений для теплового периода года.

С точки зрения обеспечения теплового комфорта человека важное значение имеет соотношение конвективной, лучистой и кондуктивной составляющих теплообмена при применении различных инженерно-технических отопительных систем. В гигиеническом отношении определяющее значение имеет величина перепадов температуры воздуха по горизонтали и по высоте помещения. Градиент по высоте помещения не должен превышать 2°C. Повышение вертикального перепада более 3°C может привести к охлаждению конечностей и рефлекторным изменениям температуры верхних дыхательных путей. Особенно важно обеспечить этот норматив в северных районах.

Нормативы температуры воздуха помещений удовлетворяют гигиеническим требованиям только в том случае, если температура внутренних поверхностей стен ниже температуры комнатного воздуха не более, чем на 2 – 3°C. Более низкая температура стен и окружающих предметов даже при нормальной температуре воздуха повышает удельный вес радиационных теплопотерь, что вызывает ощущение дискомфорта.

Для различных климатических районов рекомендованы на зимний период следующие внутренние температуры жилых помещений: для зоны 1А холодного района 21-22°C; для остальной территории холодного района 18-21°C; для умеренного – 18-20°C; для теплого – 18-19°C и жаркого – 17-18°C.

Разница температур в одном уровне по горизонтальному направлению чаще всего не превышает 2-3°C даже в зданиях облегченных конструкций, где обычно наблюдается наиболее неблагоприятный температурный режим. Такие колебания температуры при перемещении человека в комнате не вызывают каких бы то ни было отрицательных реакций организма, так как одетый человек такие температурные различия не ощущает. Несколько иное положение с температурными различиями по вертикальному направлению. В этом случае даже незначительное превышение допустимого порога может вызывать общее охлаждение организма при резком охлаждении ног.

4.3.2. Регламентация трудовой активности

Специфика санитарных норм состоит в том, что они определяют условия труда. В этом отношении арсенал возможностей нормализовать тепловое состояние человека гораздо шире, чем в рамках ГОСТов, в которых регламентируются только технические параметры среды пребывания человека.

В реальных условиях трудовой деятельности время пребывания на рабочем месте может быть регламентировано особенностями производственного процесса. Если время пребывания составляет менее 8 часов, допускается некоторое превышение или понижение температуры воздуха по сравнению с указанными в [1] верхней и нижней ее границами. Допускается степень отклонения температуры воздуха от нормируемой, которая находится в прямой зависимости от времени пребывания на рабочем месте. Основной принцип нормирования микроклимата, заключающийся в обеспечении оптимального или допустимого теплового состояния работающих, достигается в этом случае сокращением времени воздействия (непрерывного или суммарного за рабочую смену) внешней термической нагрузки на организм и обеспечением среднесменных величин температуры воздуха на уровне не выше верхних и не ниже нижних границ применительно к конкретной продолжительности рабочей смены. Среднесменная температура воздуха ($t_{\text{в}}$) рассчитывается по формуле:

$$\bar{t}_{\text{в}} = \frac{t_{1\text{в}} \cdot \tau_1 + t_{2\text{в}} \cdot \tau_2 + \dots + t_{\text{нв}} \cdot \tau_{\text{н}}}{\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_{\text{н}}}, ^\circ\text{C}$$

где: $t_{1\text{в}}$, $t_{2\text{в}}$... $t_{\text{нв}}$ – температура воздуха за период времени τ_1 , τ_2 ... $\tau_{\text{н}}$.

Эти же данные [1] приведены на графиках рис. 4.3.1 (нагревающий климат) и 4.3.2 (охлаждающий климат). Различные прямые относятся к различным категориям тяжести труда (помечены римскими цифрами над прямыми). В нагревающем микроклимате сохранение безопасного для здоровья уровня теплового состояния организма может быть

обеспечено регламентацией времени пребывания в неблагоприятной среде (непрерывно и за рабочую смену). Иллюстрацией этого может служить рис. 4.3.9 на котором представлена продолжительность пребывания человека на рабочем месте (непрерывно и за рабочую смену) во взаимосвязи с температурой воздуха и уровнем энерготрат на выполнение работы. При выполнении этого требования показатели теплового состояния человека в отдельные периоды работы не превысят предельно-допустимые; а за рабочую смену – допустимые. Однако, в связи с тем, что на функциональное состояние человека оказывают влияние также и отдельные составляющие микроклимата, должны корректироваться требования к ним в соответствии с конкретными условиями (вид спецодежды, направленность воздушного потока и теплового излучения по отношению к поверхности тела человека и др.). Здесь целесообразно руководствоваться результатами анализа процесса теплообмена человека с окружающей средой, приведенными в гл. 2 и 3.



Рисунок 4.3.9

При наличии теплового излучения указанные на рис. 4.3.9 температуры воздуха на рабочем месте должны быть снижены на 0,3 и 0,6°C на каждые 10 Вт/м² его увеличения соответственно при облучении 50 и 100% поверхности тела работающих или же, исходя из величины температурной поправки, следует сократить продолжительность пребывания на рабочем месте.

При работе в охлаждающем микроклимате должное тепловое состояние человека также может быть сохранено за счет регламентации времени воздействия холода на организм, что отражено на рис. 4.3.10 и в табл. 4.3.4.



Рисунок 4.3.10

Таблица 4.3.4.
Допустимая продолжительность пребывания работающих (в часах)
в охлаждающей среде при теплоизоляции одежды 1 Кло

Категория работ	Энерготраты, Вт/м2	Период непрерывного пребывания, ч				
		8	6	4	2	1
		Температура воздуха, °C				
Ia	58 – 77	21,0 – 18,9	19,0 – 17,0	16,7 – 15,0	15,0 – 13,1	14,0 – 12,0
Iб	78 – 97	19,8 – 18,0	17,9 – 16,0	16,0 – 14,0	14,0 – 12,0	13,0 – 11,0
IIa	98 – 129	17,0 – 15,0	15,0 – 13,0	13,0 – 11,0	11,0 – 9,0	10,0 – 8,0
IIб	130 – 160	16,0 – 14,0	14,0 – 12,0	12,0 – 10,0	10,0 – 8,0	9,0 – 7,0
III	161 – 193	15,0 – 13,0	13,0 – 11,0	11,0 – 9,0	9,0 – 7,0	8,0 – 6,0

Работающие в охлаждающей среде должны быть снабжены комплектом одежды. Для уменьшения теплотерь могут быть использованы также локальные источники тепла, направленные на сохранение должного уровня общего и локального теплообмена организма. Применение одежды не исключает соблюдение должной регламентации времени работы в неблагоприятной среде, а также общего режима труда, утвержденного соответствующим предприятием и согласованного органами Санитарного надзора.

При невозможности должной защиты работающих с помощью одежды в комплекте с ней могут быть использованы системы искусственного обогрева поверхности тела, а также, в соответствии с метеорологическими условиями и теплоизоляцией комплекта одежды, должны быть регламентированы продолжительность непрерывного пребывания на холоде и продолжительность пребывания в помещении с комфортным микроклиматом в целях нормализации теплового состояния организма.

Приведенные на рис. 4.3.1 и 2 значения допустимой на определенное время воздействия температуры воздуха правомерны для случая, когда влажность воздуха, скорость его движения, тепловое излучение соответствуют допустимым величинам, применительно к 8-часовой рабочей смене, поскольку эти параметры микроклимата, как уже было сказано выше, могут оказывать влияние не только на теплообмен человека, но и на его общее функциональное состояние.

Фактически, изложенное является примером одной из мер профилактики перегрева и охлаждения ("защита временем"):

- нормирование верхней границы внешней термической нагрузки на допустимом уровне применительно к 8-часовой рабочей смене;
- регламентации продолжительности воздействия нагревающей среды (непрерывно и за рабочую смену) в целях обеспечения среднесменного теплового состояния на оптимальном или допустимом уровне;

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины микроклимата не представляется возможным установить из-за технологических требований к производственному процессу, технической недостижимости их обеспечения или экономически обоснованной нецелесообразности, должны быть предусмотрены мероприятия по защите работающих от возможного перегрева и охлаждения, то есть по обеспечению условий сохранения теплового состояния организма работающих на допустимом уровне. Это может быть достигнуто различными средствами: при-

менением систем местного кондиционирования воздуха, воздушного душирования, помещений для отдыха в целях нормализации теплового состояния, индивидуальных средств защиты от повышенной или пониженной температуры, регламентации периодов работы в неблагоприятном микроклимате и отдыха в помещении с микроклиматом, нормализующим тепловое состояние, сокращение рабочей смены и др.

Однако, в том случае, когда параметры микроклимата не соответствуют нормативным требованиям, существенно затрудняется гигиеническая оценка степени их отклонений от нормативов, поскольку имеет место сочетанное их действие, когда изменение одного параметра микроклимата может компенсировать (или усиливать) изменение другого. Для решения этого и подобных вопросов следует использовать результаты рассмотрения теплообмена человек – окружающая среда, приведенные в гл. 2 и 3.

4.3.3. Особенности подхода к нормированию микроклимата в детских учреждениях

Как уже было сказано ранее, в определении комфорта как условия входит приятное теплоощущение человека, поскольку роль субъективной оценки микроклимата велика. Однако, считать ее достаточной для суждения о степени комфорта было бы неправильно даже в отношении взрослых людей. У детей же, например, раннего возраста, словесный отчет о теплоощущениях вообще невозможен. Поэтому при определении теплового комфорта должны учитываться как субъективные, так и объективные показатели теплового состояния.

В то же время в условиях, близких к комфорту, среднее значение показателей, характеризующих тепловое состояние взрослых и детей разного возраста, снижаются. Нивелировка средних значений показателей теплообмена в условиях комфорта объясняется резким увеличением вариабельности индивидуальных их значений, перекрывающей возрастные различия. Аналогичное увеличение амплитуды колебаний индивидуальных значений наблюдается и при анализе данных о теплопродукции и терморегуляции и т.д. Эта закономерность, установленная впервые у детей, наблюдается и у взрослых. Она определяется тем, что в благоприятных условиях среды более четко проявляются особенности нервной регуляции организма и сказываются такие факторы, влияющие на теплообмен, как характер развития подкожно-жирового слоя, эндокринная деятельность, связанная с полом. У детей эти индивидуальные различия возрастают в период интенсивного роста и нейрогормональной перестройки в предпубертатный период. Следует подчеркнуть значимость гигиенического нормирования микроклимата. Если в условиях, близких к комфорту, возрастные различия нивелируются, нормативы микроклимата жилищ могут быть едиными для взрослых и детей. Однако, они должны учитываться при установлении допустимых компонентов метеорологических параметров.

Любая гигиеническая «норма» не может быть абстрактной. Она всегда рассчитана на определенный конкретный коллектив, поэтому возраст людей, вид их деятельности, степень тренированности, уровень адаптации к конкретным условиям среды не могут не учитываться при установлении гигиенических нормативов. Если оптимальные параметры ряда естественных факторов внешней среды (например, температуры, влажности, подвижности воздуха, уровней видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой радиации) не нуждаются в возрастной дифференциации, то допус-

тимые пределы их колебаний тем меньше, ближе к «собственно норме», чем моложе ребенок, так как расширение границ допустимых пределов колебаний естественных факторов внешней среды происходит под влиянием двух взаимообусловленных причин – возрастного созревания функциональных систем и тренировки их, расширяющей условно-рефлекторные связи организма с внешней средой и увеличивающей тем самым адаптационные, приспособительные возможности организма. На основании изучения реакций теплообмена детей обоснована необходимость снижения (по сравнению с учебными помещениями) нормативных значений температуры воздуха в помещениях, где школьники находятся в состоянии двигательной активности (гимнастические залы, мастерские) и в спальнях.

Для детей нормальными, комфортными могут быть признаны лишь такие температурные условия, при которых детский организм находится в состоянии теплового равновесия без резкого напряжения терморегуляторных механизмов. Это означает, что небольшое напряжение терморегуляторных реакций следует трактовать как оптимальное для ребенка состояние.

В микроклиматических условиях, которые принято считать «нормальными» обычно от 8 до 13% взрослых людей ощущают ту или иную степень дискомфорта. Это объясняется индивидуальными различиями в уровнях обмена, качестве сосудистых реакций, толщине подкожно-жирового слоя и т.д.

Индивидуальная вариабельность реакций на воздействие метеорологических параметров в условиях теплового комфорта очень велика у детей. Поэтому даже в однородном коллективе температурная «норма», ограничиваемая 1 – 2 градусами, всегда будет вызывать у части детей определенную, не резко выраженную степень напряжения терморегуляции, так как она рассчитана на «среднего» абстрактного ребенка и не может «удовлетворить» всех детей. С другой стороны, определенное напряжение системы терморегуляции не только вредно, но даже полезно ребенку с точки зрения тренировки аппарата терморегуляции, в первую очередь, его физического компонента. Однако, для этой цели достаточно ограничиться систематическими закалывающими процедурами и широким использованием динамического микроклимата открытой атмосферы, а в жилищах и общественных зданиях сохранить тепловой комфорт, так как обеспечить в широком масштабе так называемый «динамический», «пульсирующий» микроклимат в настоящее время не представляется возможным, тем более, что в обычных жизненных ситуациях микроклимат жилых и общественных помещений никогда не бывает стабильным. Он постоянно меняется в связи с изменениями наружных, атмосферных условий и может регулироваться с помощью вентиляции. Для того, чтобы гигиенические нормы (например, температурные) могли служить основой для технических расчетов средств обеспечения теплового комфорта (теплоизоляции ограждающих конструкций, отопления) они должны быть достаточно узкими и, хотя бы на какой-то срок, стабильными для определенного коллектива. Даже при этом условии не всегда удастся создать абсолютно идентичные параметры микроклимата внутри одного здания (на разных этажах, в торцовых и рядовых помещениях). Расширение микроклиматических границ зоны комфорта, с этой точки зрения, не желательно и даже вредно. При нормировании температуры воздуха в помещениях необходимо определять как границы теплового комфорта, обеспечивающего у подавляющего большинства людей физиологический покой системы терморегуляции, так и допустимые, полезные пределы их колебаний.

Переохлаждение организма опасно для детей, которые иногда длительно находятся на полу. Возможность влияния таких температурных условий среды на «простудную» заболеваемость детей безусловно не исключена. Столь часто встречающиеся у маленьких детей зимой насморки происходят вследствие рефлекторной реакции набухания слизистых оболочек носа при охлаждении ног. При больших температурных перепадах такие же явления возникают и у взрослых.

§ 4.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ (ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ УСЛОВИЯ)

Вопросы методики проведения измерений параметров микроклимата освещены в уже упомянутых нормативных документах [1 – 5], а также в специальных методических рекомендациях [10 – 11]. Очевидно, что по целям и методам измерения должны различаться для производственных и для жилых помещений.

Применительно к производственным условиям речь может идти об аттестации рабочих мест, т.е. об определении совокупных параметров микроклимата на рабочих местах или в непосредственной близости к ним. Аттестация проводится с целью принятия, в случае необходимости, решения о приведении рабочих мест пользователей в соответствие с требованиями санитарных правил и норм путем совершенствования оборудования и режима его работы, технологической оснастки, инструмента, целесообразного выбора и использования средств механизации, эргономических характеристик конструкций, оборудования, приборов, механизмов и др.

Аттестация рабочих мест производится:

- по заявке Заказчика;
- в порядке плановых контрольных измерений;
- после проведения защитных мероприятий, направленных на снижение уровней гигиенически-значимых факторов;
- при изменении ситуационных условий – размещения нового оборудования, перепланировке обогрева и вентиляции перепрофилированию помещений, при изменении характера и режима работы оборудования.

Согласно ГОСТ [2], измерения в производственных помещениях показателей микроклимата должны проводиться в начале, середине и конце холодного и теплого периода года не менее 3 раз в смену (в начале, середине и конце).

Программа оценки микроклимата включает комплекс гигиенических, санитарно-технических обследований и должна учитывать климатические условия расположения объекта. Оценку следует начинать с выявления гигиенических особенностей технологических процессов, архитектурно-планировочных особенностей здания, помещения, ознакомления с принципами систем вентилирования помещений, ее состоянием и функционированием. Необходимо иметь план (эскиз) помещения (цеха) с указанием площади, кубатуры, количества работающих, а также с обозначением технологического оборудования, расположения рабочих мест и вентиляционных систем. При равномерно протекающих технологических процессах, которые приводят к значительным колебаниям параметров микроклимата, при кратковременных работах, а также при малой плотности рабочих мест в помещении, необходимо предусматривать проведение хронометражных наблюдений для определения продолжительности пребывания рабочих в конкретных микроклиматических условиях.

4.4.1. Планирование измерений

Собственно измерениям должна предшествовать предварительная проработка, включающая в себя несколько моментов. Следует:

1) Определить принадлежность места расположения обследуемого объекта к тому или иному строительно-климатическому подрайону (в соответствии со строительными нормами и правилами по климатологии и геофизике, утвержденными Госстроем СССР). Климатические особенности населенного пункта, в котором расположено обследуемое предприятие, оценивают по СНиП [4 – 5]. При составлении Заключения это обстоятельство определяет критерии оценки полученных результатов.

2) Провести изучение размещения (планировок) в здании рабочих мест и их привязку к организационным структурам учреждения. Необходимо получение от администрации обследуемого предприятия планировок всех помещений, где размещены все рабочие места. В случае отсутствия таковых, следует организовать их составление. Необходимо установить наличие рабочих мест с постоянным и временным пребыванием работающих, определить категорию выполняемых работ по уровню энергозатрат в соответствии с СанПиН [1].

3) При наличии планировок силами исполнителя работ, производится сверка планировок с реальным размещением рабочих мест и при необходимости планировки уточняются и корректируются, а рабочие места нумеруются. Если рабочим местом являются несколько участков производственного помещения, то измерения осуществляются на каждом из них.

4) Особое внимание следует уделять взаимному расположению рабочих мест, их оборудованию вспомогательными приборами и оргтехникой, наличию вентиляционного и нагревательного оборудования, кондиционеров и пр. При наличии источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения (нагретых агрегатов, окон, дверных проемов, ворот, открытых ванн и т.д.) измерения следует проводить на каждом рабочем месте в точках, минимально и максимально удаленных от источников термического воздействия.

5) Точки измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха должны находиться на высоте 1,0 м от пола или рабочей площадки при работах, выполняемых сидя, и на высоте 1,5 м – при работах, выполняемых стоя. Измерения проводят как на постоянных, так и на непостоянных рабочих местах при их минимальном и максимальном удалении от источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения (нагретых агрегатов, окон, дверных проемов, ворот, открытых ванн и т. д.).

6) В помещениях с большой плотностью рабочих мест, при отсутствии источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения, участки измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха распределяются равномерно по всему помещению. Количество мест измерения определяется расстоянием между ними, которое не должно превышать 10 м. Ориентировочно: в помещениях площадью до 100 м² количество точек измерения должно быть не менее 4-х, до 400 м² – не менее 8.

7) При выборе участков и времени измерения необходимо учитывать все факторы, влияющие на микроклимат рабочих мест (фазы технологического процесса, функционирование систем вентиляции и отопления и др.). Измерения показателей микроклимата следует проводить не менее 3 раз в смену (в начале, середине и в конце). При

колебаниях показателей микроклимата, связанных с технологическими и другими причинами, необходимо проводить дополнительные измерения при наибольших и наименьших величинах термических нагрузок на работающих.

С администрацией предприятия необходимо согласовать план-график проведения измерений. Этот план должен содержать:

- 1) перечень и последовательность аттестации рабочих мест;
- 2) время проведения измерений на каждом из рабочих мест;
- 3) требования к режиму работы систем вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха находящихся на рабочем месте и вблизи него – какое и в какой последовательности должно быть включено (кроме взаимоисключающих установок), переключено, выключено или добавлено;
- 4) требования к персоналу, работающему на обследуемом месте и в помещении – необходимость отсутствия или присутствия, перемещения в помещении и т.п.

4.4.2. Проведение измерений

Оценку микроклимата необходимо проводить в холодный и теплый периоды года. В холодный период года для обследования выбираются дни с температурой наружного воздуха, близкой к средней температуре наиболее холодного периода года. В теплый период года обследование проводят в дни с температурой наружного воздуха, близкой к средней максимальной температуре наиболее жаркого месяца. Измерение всех показателей следует проводить не менее 3-х раз в смену (в начале, середине и конце). При колебаниях показателей микроклимата, связанных с различными стадиями технологического процесса и/или его нарушением, низкой эффективностью работы вентиляционных и отопительных систем и с другими причинами, измерения необходимо проводить также при наибольших и наименьших величинах термических нагрузок на работающих.

Параметры микроклимата определяют на рабочих местах постоянного и временного пребывания работающих. При наличии источника локального тепловыделения, охлаждения и влаговыделения (нагретых агрегатов, металла, оконных проемов, ворот, открытых ванн и др.) параметры микроклимата должны определяться на местах максимального и минимального термического воздействия на работающих. При отсутствии источников локального термического воздействия параметры микроклимата допускается определять на любом участке рабочего места. В помещениях с большой плотностью рабочих мест, при отсутствии источника локального тепловыделения, охлаждения или влаговыделения, участки измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на рабочих местах распределяют равномерно по всему помещению в соответствии с требованиями СанПиН [1].

Температуру и скорость движения воздуха необходимо измерять на высоте 1,0 и 0,1 м от пола или рабочей площадки при работах, выполняемых сидя, и на высоте 1,5 и 0,1 м – при работах, выполняемых стоя, а относительную влажность соответственно – на высоте 1,0 и 1,5 м. При жалобах работающих на охлаждение или нагревание отдельных участков тела (ног, головы, туловища, рук) измерения температуры воздуха и скорости его движения на этих рабочих местах следует проводить на высоте 0,1; 1,0; 1,5 и 1,7 м от пола или рабочей площадки в соответствии с задачами оценки.

При наличии источников лучистого тепла интенсивность теплового облучения на рабочих местах с постоянным и временным пребыванием необходимо определять

в направлении максимума теплового излучения от каждого из источников, располагая приемник прибора перпендикулярно падающему потоку на высоте 0,5; 1,0 и 1,5 м от пола или рабочей площадки. Интенсивность теплового облучения, измеренная на каждом из этих уровней, должна соответствовать нормативным требованиям. При тепловом облучении, носящем прерывистый характер, необходимо в течение рабочей смены учитывать количество и продолжительность периодов с различной интенсивностью и определять средние величины теплового облучения (в том числе для выбора параметров воздушного душирования и т.д.) по формуле:

$$\bar{q} = \frac{q_1 \tau_1 + q_2 \tau_2 + \dots + q_n \tau_n}{\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n}, \text{ Вт/м}^2$$

где: $q_1, q_2 \dots q_n$ – интенсивность теплового облучения за отдельные промежутки времени; $\tau_1, \tau_2 \dots \tau_n$ – время, мин, в течение которого работающий подвергается тепловому облучению конкретной интенсивности.

При оценке эффективности воздушного душирования работающих, подвергающихся интенсивному тепловому облучению, необходимо измерять также температуру и скорость воздушного потока на рабочем месте.

Измерение температуры поверхностей ограждающих конструкций (стен, пола, потолка) или устройств (экранов и т.п.), наружных поверхностей технологического оборудования или его ограждающих устройств следует проводить в рабочей зоне на рабочих местах постоянного и временного пребывания. Одновременно необходимо учитывать площадь отдельных поверхностей.

В кабинах, пультах управления, диспетчерских и других помещениях малого объема, в которых расстояние от человека до окружающих поверхностей не превышает 1 м, следует проводить измерение температуры этих поверхностей и с учетом их площади определять среднюю температуру по формуле:

$$\bar{t} = \frac{F_1 t_1 + F_2 t_2 + \dots + F_n t_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}, ^\circ\text{C}$$

где: $F_1, F_2 \dots F_n$ – площадь окружающих поверхностей, м²; $t_1, t_2 \dots t_n$ – соответствующие температуры поверхностей, °C.

4.4.3. Оформление результатов

По результатам измерений выносятся заключения о том, удовлетворяет или нет требованиям СанПиН каждое из обследованных рабочих мест. Результаты измерений следует оформлять протоколом, в котором приводятся измеренные параметры микроклимата в обследуемом помещении. Для всех результатов приводятся погрешности измерений, определяемые либо техническими характеристиками измерительных приборов, либо разностью показаний приборов в серии последовательных измерений в одних и тех же местах (в зависимости от того – какая из этих величин больше). Обязательным приложением к протоколу аттестации являются планировки помещений и результаты инвентаризации рабочих мест. Если в результате измерений обнаружено нарушение санитарных норм, в заключении целесообразно отметить наиболее вероятные причины этого.

Основные данные, долженствующие быть отраженными в протоколе:

- название предприятия (цеха), адрес объекта;

- сроки и время проведения исследований, кем проводились, кто присутствовал в качестве представителя объекта;
- схема и размеры обследованных помещений с указанием размещения технологического оборудования, вентиляционных и отопительных систем, дверей, окон, ворот и других источников тепловыделений, влаговыведений и охлаждения;
- характеристика выполняемых операций и интенсивность физической активности (энерготраты, категория работ) у рабочих основных профессий;
- санитарно-гигиеническая характеристика системы отопления и вентиляции, расположение нагревательных приборов, воздухораспределительных и вытяжных устройств, степень и качество их функционирования;
- расположение рабочих мест и участков проведения измерений относительно термических источников его определяющих;
- характеристика режима труда и отдыха работающих, частоты и длительности перерывов в работе, микроклиматических условий в местах отдыха;
- результаты инструментальных исследований показателей микроклимата;
- заключение с оценкой результатов выполненных измерений и степени их соответствия нормативным требованиям.

В заключении протокола должна быть дана оценка результатов выполненных измерений на соответствие нормативным требованиям. При гигиенической оценке микроклимата на рабочем месте определяющим является наибольшее отступление от норм из всех зарегистрированных значений.

§ 4.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ (ПОМЕЩЕНИЯ В ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ)

Для жилых и общественных зданий параметры микроклимата определяются ГОСТом [3]. Этот стандарт появился существенно позже чем ГОСТ [2] для производственных условий. До появления документа [3] расчетные параметры теплового состояния внутреннего воздуха и его подвижность традиционно приводились в СНиП [4 – 5]. Нормировался температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности наружного ограждения, косвенно отражающий радиационную температуру помещения. Значения этого перепада устанавливаются из условия обеспечения комфорта человека; ранее они были направлены на исключение выпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения. Появление ГОСТа [3], в котором реализован комплексный подход к нормированию показателей микроклимата, несомненно было положительным моментом.

В основу ГОСТа [3] были положены принципы сохранения здоровья и работоспособности людей при различных видах активности. Гигиенические нормативы отражали современные научные и технические знания, получаемые при изучении реакций человека на воздействие тех или иных факторов окружающей среды. В них учтены современные теплотехнические требования к ограждающим конструкциям зданий и системам отопления и вентиляции.

Для оценки микроклимата жилых помещений необходим учет метеорологических факторов наружной атмосферы. С этой целью определяют температуру наружного воздуха, влажность и подвижность его, направление ветра. Наружные метеорологические условия определяют вблизи исследуемого здания на открытой, незащищен-

ной от ветра площадке на расстоянии от стен дома не менее 2-3 м. Все измерения проводят на высоте 1-1,5 м над уровнем земли. Длительность наблюдения за микроклиматом помещений определяется задачей оценки и наружными метеорологическими условиями. Исследования следует проводить не менее, чем на протяжении одной полной температурной волны как при расчетных (неблагоприятных) температурных условиях внешней среды, так и при наиболее типичных условиях на данной местности в каждом сезоне года. За расчетную зимнюю температуру наружного воздуха принимают среднюю температуру наиболее холодной пятидневки, за расчетную летом – среднюю температуру воздуха в 13 час дня самого жаркого месяца в году.

Микроклимат помещений в жилых и общественных зданиях оценивают по тем же показателям, что и для производственных условий:

- температура воздуха;
- подвижность воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- радиационный режим помещений, который определяется температурой ограждающих поверхностей.

Для каждого из этих показателей установлены оптимальные уровни и допустимые пределы колебаний с учетом их сочетанного, комплексного действия на организм человека

Приступая к оценке микроклимата, необходимо детально обследовать помещение, выявить особенности его планировки, конструкцию наружных ограждений, устройство и режим эксплуатации отопительно-вентиляционного оборудования.

При санитарно-гигиенической оценке условий проживания населения в заселенном доме микроклиматические измерения проводят в квартирах, расположенных в рядовой и торцовой секциях, с односторонней и двухсторонней ориентацией квартир. В многоэтажных зданиях измерения проводят на 1, последнем этажах и, в зависимости от этажности здания, через каждые 2-3 этажа. Продолжительность исследований определяется погодными условиями: зимние исследования проводят при минимальных для данных климатических условий местности наружных температурах, летние – при максимальных.

Температуру воздуха в помещении измеряют по вертикали на трех уровнях: у пола, на уровне головы сидящего человека и у потолка. Количество уровней может быть увеличено или уменьшено в зависимости от задач оценки и характера обследуемого объекта. По горизонтали обычно выбирают следующие точки: у наружной стены, в центре помещения и у внутренней стены (противоположной наружной). При проведении обследования в угловых комнатах добавляют точку, находящуюся в углу комнаты на расстоянии 0,5 м от обеих наружных стен. Обычно замеры производят в 9 точках помещения. В начале определяют 3 точки в плане помещения: на расстоянии 15-20 см от наружной стены, в центре помещения и в 15-20 см от внутренней стены. В каждой из указанных точек измерения проводят в 3 уровнях: на расстоянии 15-20 см от пола, на уровне 1,5 м от него и в 15-20 см от потолка.

Радиационный тепловой режим в помещении определяют двумя способами:

- косвенным путем через измерение температуры внутренних ограждений;
- прямым определением интенсивности инфракрасной радиации.

Для характеристики радиационного режима в помещении, где нет нагретых или охлажденных поверхностей, используют 3 значения: среднюю радиационную температуру, радиационную температуру в конкретной точке, рассчитываемых по темпера-

туре зачерненного шарового термометра [22]. При измерении температуры шаровым термометром шары располагают на уровне головы и ног. Необходимо также измерять и температуру ограждений.

Для прямой характеристики интенсивности инфракрасного излучения в помещении допускается метод измерения «поля лучистой энергии». В основу его положен учет пространственной неравномерности, полусферического и векторного характера лучистого теплообмена поверхности тела человека с окружающей средой.

Относительная влажность воздуха измеряется в одной точке – центре помещения.

Выбор количества точек для измерения подвижности воздуха зависит от задач оценки: можно ограничить количество точек измерения только определением подвижности воздуха в зоне расположения ног и головы человека, а при изучении характера воздушных потоков при различных видах подачи воздуха в помещении количество точек должно быть увеличено до 4, а иногда и больше, причем по вертикали измерения производят на уровне ног, туловища, головы.

Помимо разовых наблюдений, рекомендуется производить динамические наблюдения при помощи самописцев. В этом случае измеряют основные факторы микроклимата – температуру и относительную влажность. Замеры осуществляют с помощью суточных или (лучше) недельных самописцев (термографов и гигрографов), установленных на высоте 1-1,5 м от пола в середине комнаты или у внутренней стены (не ближе 1,5 м от нагревательных приборов и окон). Продолжительность наблюдений – период наружной температурной волны (7-10 суток).

ГОСТом устанавливаются общие требования к оптимальным и допустимым показателям микроклимата и методы их контроля. Оптимальные параметры микроклимата – это «сочетания значений показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение теплового комфорта не менее чем у 80 % людей, находящихся в помещении. «К допустимым параметрам микроклимата отнесены такие сочетания показателей, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать общее и локальное ощущение дискомфорта, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности при усиленном напряжении механизмов терморегуляции и не вызывают повреждений или ухудшения состояния здоровья». Диапазон оптимальных параметров уже и находится внутри зоны допустимых, но только допустимые параметры являются обязательными для соблюдения. Этим требованием реализован новый подход к разработке нормативных документов, когда потребительские свойства зданий разрешается улучшать при желании и наличии средств.

Значения оптимальных и допустимых норм микроклимата в обслуживаемой зоне помещений (в установленных расчетных параметрах наружного воздуха) приведены в ГОСТе для следующих показателей: температура, скорость движения, относительная влажность воздуха; результирующая температура помещения; локальная асимметрия результирующей температуры.

Оценка температурной обстановки помещений предусматривается по двум температурам – воздуха и результирующей помещения. Результирующая температура является комплексным показателем температуры воздуха и радиационной температуры помещения.

Результирующую температуру можно рассчитать, измерив температуры воздуха и всех поверхностей, обращенных в помещение, а можно измерить шаровым термометром. Первый способ может оказаться трудно выполнимым, так как в стандарте не уточняется, как измерить температуру и площадь поверхности отопительного прибора, особенно если у него оребренная поверхность.

Для исключения отрицательного воздействия на человека одновременного влияния нагретых и охлажденных поверхностей ограничивается локальная асимметрия результирующей температуры помещения, которая определяется как «разность результирующих температур в точке помещения, определенных шаровым термометром для двух противоположных направлений».

Шаровой термометр для определения локальной асимметрии результирующей температуры – это шаровой термометр, у которой одна половина шара имеет зеркальную поверхность (степень черноты поверхности не выше 0,05), а другая – зачерненную (степень черноты – не ниже 0,95).

Установленные стандартом диапазоны параметров ужесточены в сторону комфортных значений по сравнению с приведенными в приложениях 1 и 5 СНиП [5]. Допустимая относительная влажность в холодный период практически в любых помещениях, где она нормируется, не должна превышать 60 % (ранее – 65 %), оптимальная скорость движения воздуха в жилых комнатах в холодный период составляет 0,15 м/с вместо 0,2 м/с по СНиП [5]. Для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) в теплый период 25°C и выше или с расчетной относительной влажностью воздуха (параметры А) более 75 % не делается никаких отступлений от указанных верхних пределов температуры и влажности внутреннего воздуха.

В качестве допустимых условий ГОСТ [3] предусматривает сочетания более низкой температуры воздуха с более высокой результирующей температурой. Например, в нормах оптимальных условий жилых зданий имеется только одна температура – 20°C, принадлежащая диапазонам обеих нормируемых температур. Из-за этого лучистая система отопления, признанная [10] более комфортной для человека по сравнению с радиаторной и конвекторной, не сможет поддержать оптимальные, с точки зрения ГОСТа, условия, так как при наличии инфильтрации наружного воздуха температура внутреннего воздуха всегда будет несколько ниже средней радиационной температуры.

Параметры воздушной среды в соответствии со стандартом должны обеспечиваться и контролироваться по всему объему обслуживаемой зоны, для чего в ГОСТе [3] установлены места измерения их значений и приводятся допустимые отклонения в различных точках обслуживаемой зоны. По температуре воздуха они ограничены 2°C для оптимальных показателей и 3°C – для допустимых; по относительной влажности – 7 % для оптимальных и 15 % – для допустимых, по скорости движения воздуха – соответственно 0,07 и 0,1 м/с.

При этом в тексте не обошлось без противоречия. С одной стороны, измерение скорости воздуха выполняется в различных точках обслуживаемой зоны и нормируются допустимые диапазоны скорости; с другой, – под скоростью движения воздуха понимается «осредненная по объему обслуживаемой зоны скорость движения воздуха». То же самое можно сказать и об относительной влажности.

Показатели, включающие в себя оценку радиационной температуры, нормируются только для середины помещения. При этом в дополнение к нормативным диапазонам результирующей температуры помещения установлен допустимый разброс

этой температуры по высоте помещения не более 2°C для оптимальных показателей и 3°C – для допустимых. Локальная асимметрия результирующей температуры должна быть не более 2,5°C для оптимальных и не более 3,5°C для допустимых показателей. К сожалению именно эти параметры на границе обслуживаемой зоны не измеряются и не нормируются. Кроме того, требования, установленные для локальной асимметрии результирующей температуры, не являются обязательными. Тот факт, что в ГОСТе [3] приводится локальная асимметрия не радиационной температуры, а результирующей, по существу допускает локальные асимметрии радиационной температуры в два раза превышающие нормы для результирующей.

В ГОСТе [3] локальная асимметрия результирующей температуры помещения определяется как разность температур, измеренных в двух противоположных направлениях шаровым термометром с рекомендуемым диаметром сферы 150 мм. Представляется, что более жесткая оценка локальной асимметрии радиационной температуры относительно противоположных сторон плоской элементарной площадки точнее описывает процесс теплообмена неблагоприятно расположенных поверхностей на теле человека, чем относительно полусферы диаметром 15 см. Например, площадки на груди и спине человека могут ощущать одновременное переохлаждение и нагрев. Оценка этого теплоощущения не может выполняться с использованием прибора, интегрирующего сферой температуры всех окружающих поверхностей. Шаровой термометр подходит скорее для оценки радиационной и результирующей температуры в центре помещения и, на мой взгляд, не годится для измерения такой характеристики как асимметрия радиационной и результирующей температуры, которые должны оцениваться на границе обслуживаемой зоны [3].

Расчеты показали, что асимметрии радиационной температуры относительно элементарных площадок и полусфер диаметром 150 мм отличаются друг от друга более чем в четыре раза! Если при нормативных теплозащите (по второму этапу) и размерах окна, например, в районе с расчетной температурой наружного воздуха -28 0C асимметрия радиационной температуры на расстоянии 0,5 м от окна относительно полусферы на любой высоте от пола укладывается в 3°C, то относительно вертикальной элементарной площадки в рядовых комнатах при радиаторном, конвекторном и воздушном отоплении на высоте 1,1 м от пола она равна 9,4-9,7°C. То есть, если судить по результатам относительно полусферы, то нормы по асимметрии результирующей температуры помещения, выполняются всегда и с запасом, а если относительно плоской элементарной площадки, то в расчетный период нормы оптимальных условий не выполняются на высоте 1,1 м даже на расстоянии 1 м от окна, нормы допустимых условий на высоте 1,1 м не выполняются только на расстоянии 0,5 м от окна. Хотя, как уже сказано, асимметрия результирующей температуры, не являясь обязательным параметром, нормируется только для середины помещения.

Как пример еще одного недоразумения, укажем на требования по влажности воздуха. Согласно ГОСТ [2] величина RH должна быть в пределах 40 – 60 %. Позже (в ГОСТ [3]) эта величина была снижена до 30 – 45 %. Реально такие значения влажности недостижимы в холодный период года.

Дело в том, что большая часть территории нашей страны лежит в континентальной и резко континентальной климатической зоне. Это означает продолжительные и довольно суровые зимы со средней температурой по крайней мере ниже -10°C. При этом температура воздуха в помещениях в большинстве регионов страны поддержи-

вается на уровне 20...22°C. При поступлении наружного воздуха в помещение он сохраняет абсолютное влагосодержание и если относительная влажность наружного воздуха будет даже 100% то внутри она упадет до 13%. При наружной температуре -20°C – до величины 4,4%. Именно эти величины характерны для помещений в зимний период. Искусственное увлажнение воздуха в помещении приведет в первую очередь к отпотеванию наружных стен, окон и пр., но не поднимет существенно влажность воздуха. Уже к середине зимы стены, мебель, бумага отдадут накопленную в летний период влагу (а это могут быть десятки килограмм) и становятся мощными насосами, выкачивающими водяной пар из воздуха при потеплениях или попытках одновременного повышения влажности в помещении путем полива, испарения или разбрызгивания воды. Стоимость эффективной системы увлажнения воздуха существенно превышает стоимость системы кондиционирования.

Вполне возможно, что все это – результат не критического заимствования норм у более теплых стран. Нормирование влажности на уровне 30 – 60% оправдано для стран с теплым климатом. В России – это источник постоянных нарушений норм.

§ 4.6. ЗАПАДНЫЕ СТАНДАРТЫ

Как уже отмечалось выше, общие принципы, определяющие требования к параметрам микроклимата в нормативных документах [1 – 3] не сформулированы. Это не принято делать в такого сорта документах, но и в оригинальных работах авторов этих документов принципы выбора тех или иных параметров не обсуждаются. Подчас это приводит к явным недоразумениям.

С течением времени недочеты норм [1 – 3] становятся очевидными и самим авторам, возможно с этим связаны появляющиеся после их выхода указания [11] на возможность отступления от требований норм «после проведения дополнительных медицинских (на основе физиологических критериев термического состояния организма) исследований» (см. п. 4.6.1). В случаях, когда по технологическим или экономическим причинам условия труда не соответствуют указанным в нормах [1 – 3], «оценка условий труда может быть дана на основе специальных физиолого-гигиенических исследований теплового состояния человека» (см. п. 4.6.15). Во всех этих указаниях не говорится, однако, какого сорта «дополнительные исследования» должны быть проведены.

В связи с этим, представляется интересным дать краткое описание подхода к проблемам микроклимата, принятого в западных странах. Помимо прочего, эта тематика становится актуальной в связи с идущим процессом «гармонизации» российско-го законодательства с международным.

Наиболее серьезные различия в основной концепции стандартизации на Западе и в России. В международных нормах стандартизованы прогностические методы оценки микроклимата, а право выбирать те или иные параметры предоставлено заказчику строительства. При этом заказчик вправе выбирать способ достижения необходимого уровня комфорта за счет различных параметров – либо за счет температуры и скорости движения воздуха, либо за счет радиационной температуры, либо за счет одежды персонала. В этом вопросе можно руководствоваться различными критериями – экономическими (определение максимального уровня расходов), технологическими (требования со стороны оборудования, которое предполагается использовать в помещении), социальными (договоренности с профсоюзами) и пр.

В любом случае, однако, решение проблемы комфортности тех или иных условий требует серьезной работы, которая, как правило, выполняется группами специалистов. В более-менее серьезных случаях, в состав этих групп входят экономисты, врачи-гигиенисты, инженеры, специалисты по эргономике труда и пр.

Первым этапом в разработке проекта является обеспечение условий теплового комфорта во всей обслуживаемой зоне без учета индивидуальных потребностей каждого человека. Для этой цели необходимо принимать во внимание требования, приведенные в нормативных документах по микроклимату помещений [12]. Эти требования основаны на усредненных данных для больших групп людей, имеющих одежду с одинаковыми теплозащитными свойствами и выполняющих работу одинаковой степени тяжести. Однако на практике физическое и психологическое восприятие микроклимата у различных людей, как правило, отличается в зависимости от одежды, выполняемой работы, индивидуальных предпочтений по температуре и подвижности воздуха, скорости адаптации к изменению параметров воздушной среды. Так, теплоизоляционные свойства одежды людей могут меняться в пределах от 0,4 до 1,2 clo и более, интенсивность энергообмена (метаболизм) изменяется от 1 до 2 met в зависимости от интенсивности физической и умственной деятельности людей [13]. Различия в предпочтениях по температуре воздуха могут достигать 10°C. Предпочтительное значение подвижности воздуха также может отличаться в четыре раза. Различия в индивидуальных требованиях к микроклимату до некоторой степени учтено в действующих нормативах: в стандарте [12] рекомендуется использовать допустимый температурный диапазон для зимы и лета, одновременно предлагается значение PMV в диапазоне +/- 0,5. Натурные обследования с большим количеством испытуемых подтвердили допустимость применения указанного диапазона. Таким образом, первым условием при проектировании является возможность обеспечения системами обогрева и вентиляции параметров микроклимата в помещении во всем диапазоне, предписанном нормативными документами.

Чаще всего при проектировании систем обогрева и вентиляции неизвестно, какого рода деятельность будут заняты люди в помещении как это будет изменяться с течением времени. Как правило, в офисных помещениях находится небольшое количество сотрудников, и их индивидуальные требования к микроклимату могут не соответствовать усредненным значениям, предусмотренным нормативами. Этим объясняются частые жалобы на тепловой дискомфорт, даже если микроклимат в помещениях отвечает требованиям стандартов. Часто одни и те же помещения в течение дня используются разными людьми для различных целей. Некоторые люди чувствительны к сквознякам, в то время как другие не замечают подвижности воздуха. При проектировании систем микроклимата следует ориентироваться на более жесткие требования к подвижности воздуха, так как на практике гораздо труднее уменьшить сквозняки, чем организовать индивидуальный обдув (например, с помощью настольных вентиляторов). Итак, второе условие для проектирования состоит в том, что системы обогрева и вентиляции должны предусматривать возможность индивидуального регулирования параметров в рабочей зоне (по крайней мере, температуры и подвижности воздуха) в пределах нормативного диапазона.

Следующим этапом в разработке проекта является обеспечение возможности удовлетворения индивидуальных требований к микроклимату. Усредненные нормативные параметры микроклимата могут быть неприятными для некоторых или даже

для большинства людей в конкретном случае. В одном и том же помещении могут находиться люди, предпочитающие более высокую или более низкую температуру воздуха. Наиболее часто на практике встречается различие в требованиях к подвижности воздуха. Люди вынуждены находить компромисс по различным параметрам микроклимата. Например, зимой люди с повышенными требованиями к качеству воздуха допускают более низкую температуру в помещении, в то время как для тех, кто восприимчив к сквознякам, это нежелательно. Компромиссные сочетания параметров микроклимата могут быть разными для различных групп и изменяться с течением времени. Следовательно, каждый человек в помещении должен иметь средства для обеспечения индивидуальных требований к микроклимату в своей микроне.

Недавно были предложены рекомендации по расчету локального отопления, основанные на экспериментальных исследованиях. Испытания показали, что локальный обогрев в сочетании с подбором одежды может обеспечить тепловой комфорт при снижении температуры помещения до 20°C. Большинство испытуемых имели возможность регулирования теплоотдачи локальных отопительных панелей и обеспечивали желательные температурные условия за короткое время. По-видимому, индивидуальное регулирование параметров микроклимата позволит улучшить общую оценку теплового комфорта в помещении, уменьшить количество жалоб и повысить производительность труда работников. Однако для обоснования этих выводов необходимы дополнительные исследования. Дальнейшее улучшение микроклимата в помещении может быть достигнуто путем использования локального обогрева в сочетании с подачей вентиляционного воздуха непосредственно в зону дыхания людей. Основная проблема при этом состоит в том, чтобы ограничить подмешивание загрязненного воздуха помещения к приточному. Таким образом, минимальная фоновая общеобменная вентиляция, поддерживающая допустимые условия в помещении по температуре и качеству воздуха, в сочетании с индивидуальными средствами регулирования параметров микроклимата может быть оптимальным решением с точки зрения энергосбережения и обеспечения тепловых условий комфорта.

Нормативные данные, описывающие локальные нарушения теплового комфорта, основаны на лабораторных исследованиях. Испытуемые на фоне нейтральной тепловой обстановки подвергались воздействию какого-либо одного фактора, создающего дискомфорт, например – сквозняки, неравномерность распределения температур по вертикали или асимметрия лучистого теплообмена. На практике, однако, люди подвергаются одновременному воздействию нескольких факторов дискомфорта на фоне слабого перегрева или переохлаждения. Например, в помещениях с системой приточной вентиляции, действующей по принципу «вытеснения», люди испытывают дутье по ногам и одновременно большой температурный градиент по высоте. В зимнее время в помещениях с «перемешивающей» системой воздухораспределения люди подвергаются воздействию сквозняков одновременно с асимметрией лучистого теплообмена по отношению к охлажденной поверхности оконных стекол. Такое воздействие факторов дискомфорта на человека может привести к различным результатам; этот вопрос нуждается в дополнительном изучении. Последние исследования в этой области показывают, что направление обдува является существенным фактором при оценке дискомфорта от сквозняков. Это необходимо принимать во внимание при выборе систем воздухораспределения. Для улучшения качества проектирования систем обогрева и вентиляции необходимо обновление существующих нормативных документов по тепловому комфорту с учетом результатов последних исследований в этой области.

Большинство исследований в области теплового комфорта проводилось в стационарных условиях. Однако в реальности тепловая обстановка, одежда и уровень активности людей меняются в течение рабочего дня, что, в свою очередь, оказывает влияние на ощущение теплового комфорта. Проводились исследования реакции человеческого организма на кратковременные изменения микроклимата [14]. Дальнейшее изучение реакции человека на кратковременные изменения тепловой обстановки позволит определить новые направления в проектировании систем обогрева и вентиляции.

Основная задача оценки состояния микроклимата помещения – удостовериться соответствии фактических значений параметров воздуха требуемым для обеспечения нормальных условий пребывания людей. Натурные обследования в помещениях во время пребывания людей дают возможность выявить причины жалоб и адаптировать системы обогрева, вентиляции и кондиционирования для улучшения уровня комфортности. Для этой цели выполняются теоретические расчеты и измерения физических параметров воздушной среды. Порядок проведения натурных испытаний (измеряемые величины и места расположения измерительных приборов) регламентирован стандартами [15 – 17].

Инженеры, проектирующие системы обогрева и вентиляции, могут предложить решения, обеспечивающие оптимальные параметры микроклимата с учетом результатов проведенных исследований, новых концепций технологии и регулирования систем. Однако даже хороший проект не может гарантировать отсутствие жалоб на микроклимат при недостаточно высоком уровне эксплуатации и обслуживания. Задача обеспечения надлежащего микроклимата в помещениях стоит главным образом перед службами эксплуатации здания и операторами систем обогрева и вентиляции. Некачественно обслуживаемые системы микроклимата становятся причиной многих неудобств для персонала. Например, при большой скорости подачи воздуха некоторые из находящихся в помещении людей могут выключить приточное устройство или, в случае перегрева, открыть окна, что обычно приводит к дискомфорту для всех остальных. В результате возникают жалобы, и может снизиться производительность труда работников. К тому же во многих случаях возрастает энергопотребление системами обогрева и вентиляции. Часто все трудности сводят к недостатку ресурсов для обеспечения требуемых параметров; систему начинают эксплуатировать в нерасчетном режиме, что усугубляет проблемы с микроклиматом в помещениях и приводит к возрастающим эксплуатационным затратам.

Поведение людей, находящихся в кондиционируемых помещениях, имеет немаловажное значение как для поддержания заданных параметров воздушной среды, так и для энергосбережения. Во время проведения натурных обследований были отмечены случаи неудовлетворительной работы систем микроклимата из-за недостатка знаний, пассивности или неправильных действий пользователей. Так, например, в помещениях с напольной подачей вентиляционного воздуха приточные устройства были загорожены мебелью и офисным оборудованием, что оказало влияние на воздухообмен в этих помещениях и на производительность системы в целом.

Возвращаясь к проблеме оценки комфортности теплового микроклимата помещения, заметим, что он определяется в международном стандарте [7], в котором реализован предложенный О.Фангером метод оценки комфортности теплового микроклимата помещения. Метод П.О.Фангера позволяет комплексно учесть радиационную температуру помещения, температуру, влажность и подвижность воздуха, теплопродукцию человека и тепловую изоляцию одежды. Отметим попутно, что последнее су-

щественно, так как вариация параметров одежды во многих случаях позволяют компенсировать эффекты от некомфортной температуры воздуха, радиационной температуры, ее асимметрии и пр. Этот фактор, однако, пока не нашел отражения в отечественных нормативных документах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В основе санитарной регламентации лежат исследования по частной гигиене труда и быта. Основное внимание в исследованиях по гигиене труда уделяется установлению связи состояния здоровья и заболеваемости работающих с условиями труда. Конечным результатом исследований по гигиене труда является разработка санитарных правил и норм проектирования отдельных производств и организации рабочих процессов. Логическим продолжением гигиенических исследований комплексного воздействия санитарных условий труда, характера и организации трудовых процессов на состояние здоровья и работоспособность является разработка общегосударственных технических нормативных материалов, как например, правил по проектированию промышленных предприятий, требований к технологическим процессам и оборудованию и т.д. В конце цепочки нормативных документов находятся Строительные Нормы и Правила Требования СанПиН и ГОСТ выступают здесь как исходные параметры, определяющие необходимые строительно-технические решения.

2. Микроклимат помещений оценивается по следующим показателям, для каждого из которых установлены оптимальные уровни и допустимые пределы колебаний с учетом их комплексного действия на организм человека:

- температура воздуха;
- подвижность воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- радиационный режим помещений, который определяется температурой ограждающих поверхностей.

При формулировке требований к микроклимату необходимо принимать во внимание также целый ряд других факторов, обуславливающих теплообмен и тепловое состояние человека. Некоторые из них также следует регламентировать: наличие одежды, продолжительность пребывания на рабочих местах, составляющие микроклимата, учет среднесуточного уровня энергозатрат.

3. Нормирование микроклиматических параметров жилья отличается рядом особенностей. В рационально построенном жилище при разных системах отопления (конвекционное, лучистое) степень теплового комфорта может быть также различная в связи с изменением условий, а, следовательно, и роли отдельных каналов теплоотдачи, хотя тепловой баланс при этом может быть и не нарушен. Относительно широкая биологическая приспособляемость человека исключает необходимость устанавливать узкий стандарт теплового комфорта для всех людей и при всех условиях. Основными принципами гигиенического нормирования параметров климата в помещениях жилых и общественных зданий являются:

а) гигиеническое нормирование дифференцированных величин оптимальных и допустимых параметров микроклимата, учет суточной и сезонной ритмики колебаний физиологических функций, а также акклиматизации человека к определенным климатическим поясам;

б) дифференцированное нормирование параметров микроклимата в отношении возрастных групп населения;

в) учет при гигиеническом нормировании оптимальных и допустимых параметров микроклимата, уровня энерготрат (активности) и теплозащитных показателей одежды соответствующих групп населения.

4. Нормативные требования к показателям оптимального микроклимата применительно к теплому и холодному периодам года приведены в СанПиН [1] в виде таблиц и формул. Их сочетанное действие обеспечивает оптимальное тепловое состояние человека в течение 8-часовой рабочей смены. В тех случаях, когда особенности технологии производства, технические трудности и большие экономические затраты не позволяют обеспечить оптимальные величины параметров микроклимата устанавливаются на рабочих местах их допустимые значения. Это означает, что тепловое состояние лиц сохраняется на допустимом уровне в течение 8-часовой рабочей смены. В реальных условиях особенности производственного процесса могут регламентировать ритмику трудовой деятельности – время пребывания на рабочем месте. Если время пребывания составляет менее 8 часов, допускается некоторое превышение или понижение температуры воздуха по сравнению с указанными в [1] верхней и нижней ее границами. Допускается степень отклонения температуры воздуха от нормируемой, которая находится в прямой зависимости от времени пребывания на рабочем месте. Фактически, речь идет об одной из мер профилактики перегрева и охлаждения – защита временем.

5. Вопросы методики проведения измерений параметров микроклимата освещены в нормативных документах [1 – 5], а также в специальных методических рекомендациях [10 – 11]. Очевидно, что по целям и методам измерения должны различаться для производственных и для жилых помещений. Применительно к производственным условиям речь может идти об аттестации рабочих мест, т.е. об определении совокупных параметров микроклимата на рабочих местах или в непосредственной близости к ним. Собственно измерением должна предшествовать предварительная проработка, включающая в себя несколько моментов. Программа оценки микроклимата включает комплекс гигиенических, санитарно-технических обследований и должна учитывать сезон года и климатические условия расположения объекта. Оценку следует начинать с выявления гигиенических особенностей технологических процессов, архитектурно-планировочных особенностей здания, помещения, ознакомления с принципами систем вентилирования помещений, ее состоянием и функционированием. Необходимо иметь план (эскиз) помещения (цеха) с указанием площади, кубатуры, количества работающих, а также с обозначением технологического оборудования, расположения рабочих мест и вентиляционных систем. При равномерно протекающих технологических процессах, которые приводят к значительным колебаниям параметров микроклимата, при кратковременных работах, а также при малой плотности рабочих мест в помещении, необходимо предусматривать проведение хронометражных наблюдений для определения продолжительности пребывания рабочих в конкретных микроклиматических условиях.

6. Параметры микроклимата определяют на рабочих местах постоянного и временного пребывания работающих. При наличии источника локального тепловыделения, охлаждения и влаговыведения (нагретых агрегатов, металла, оконных проемов, ворот, открытых ванн и др.) параметры микроклимата должны определяться на местах максимального и минимального термического воздействия на работающих. При отсутствии источников локального термического воздействия параметры микрокли-

мата допускается определять на любом участке рабочего места. В помещениях с большой плотностью рабочих мест, при отсутствии источника локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения, участки измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха на рабочих местах распределяют равномерно по всему помещению в соответствии с требованиями СанПиН [1].

7. По результатам измерений выносятся заключения о том, удовлетворяет или нет требованиям СанПиН каждое из обследованных рабочих мест. Результаты измерений следует оформлять протоколом, в котором приводятся измеренные параметры микроклимата в обследуемом помещении. Для всех результатов приводятся погрешности измерений, определяемые либо техническими характеристиками измерительных приборов, либо разностью показаний приборов в серии последовательных измерений в одних и тех же местах (в зависимости от того – какая из этих величин больше). Обязательным приложением к протоколу аттестации являются планировки помещений и результаты инвентаризации рабочих мест. Если в результате измерений обнаружено нарушение санитарных норм, в заключении целесообразно отметить наиболее вероятные причины этого. При гигиенической оценке микроклимата на рабочем месте определяющим является наибольшее отступление от норм из всех зарегистрированных значений.

8. Микроклимат помещений в жилых и общественных зданиях оценивают по тем же показателям, что и для производственных условий. При санитарно-гигиенической оценке условий проживания населения в заселенном доме микроклиматические измерения проводят в квартирах, расположенных в рядовой и торцевой секциях, с односторонней и двухсторонней ориентацией квартир. В многоэтажных зданиях измерения проводят на 1, последнем этажах и, в зависимости от этажности здания, через каждые 2-3 этажа. Продолжительность исследований определяется погодными условиями: зимние исследования проводят при минимальных для данных климатических условий местности наружных температурах, летние – при максимальных. Помимо разовых наблюдений, рекомендуется производить динамические наблюдения при помощи самописцев. В этом случае измеряют основные факторы микроклимата – температуру и относительную влажность. Замеры осуществляют с помощью суточных или (лучше) недельных самописцев (термографов и гигрографов), установленных на высоте 1-1,5 м от пола в середине комнаты или у внутренней стены (не ближе 1,5 м от нагревательных приборов и окон). Продолжительность наблюдений – период наружной температурной волны (7-10 суток).

9. Сопоставление подходов к проблемам микроклимата, принятого в России и западных странах позволяет выявить различия в основной концепции стандартизации на Западе и в России. Помимо прочего, эта тематика становится актуальной в связи с идущим процессом «гармонизации» российского законодательства с международным. В международных нормах стандартизованы прогностические методы оценки микроклимата, а право выбирать те или иные параметры предоставлено заказчику строительства. В этом вопросе можно руководствоваться различными критериями – экономическими (определение максимального уровня расходов), технологическими (требования со стороны оборудования, которое предполагается использовать в помещении), социальными (договоренности с профсоюзами) и пр. Чаще всего при проектировании систем обогрева и вентиляции неизвестно, какого рода деятельностью будут заняты люди в помещении, как это будет изменяться с течением времени. Как правило, в офисных помещениях находится небольшое количество сотрудников, и их индивидуальные требования к микроклимату могут не со-

ответствовать усредненным значениям, предусмотренным нормативами. Часто одни и те же помещения в течение дня используются разными людьми для различных целей. Поэтому системы обогрева и вентиляции должны предусматривать возможность индивидуального регулирования параметров в рабочей зоне (по крайней мере, температуры и подвижности воздуха) в пределах нормативного диапазона. Метод оценки комфортности теплового микроклимата помещения определяется в международном стандарте [7], в котором реализован предложенный О.Фангером метод оценки комфортности теплового микроклимата помещения. Метод П.О.Фангера позволяет комплексно учесть радиационную температуру помещения, температуру, влажность и подвижность воздуха, теплопродукцию человека и тепловую изоляцию одежды.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 4

1. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СанПиН 2.2.4.548-96 М., 1996 г.
2. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М., 1988 г.
3. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М., 1999.
4. Строительные нормы и правила. СНиП 2.01.01. «Строительная климатология и геофизика». М., 2001 г.
5. Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.95-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». М., 1997 г.
6. Рублак К., Афанасьева Р.Ф., Бютель Х. и др. Методы интегральной климатической оценки. //Гигиенические основы профилактики неблагоприятного воздействия производственного микроклимата на организм человека. – М., 1992. – Вып. 43. – С. 133-149.
7. Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. ISO 7730-84 (E).
8. Минут-Сорохтина О.П. Физиология терморегуляции. – М.: Медицина, 1972. – 228 с.
9. Гвозденко Л.А. О критериях оценки повреждающих эффектов инфракрасного излучения. //Гигиена и санитария. – 1989. – № 11. – С. 20-24.
10. Сканава А.Н. Конструирование и расчет систем водяного и воздушного отопления зданий. М.:Стройиздат, 1983.-304 с. 4.
11. Руководство Р 2.2.013-94. Гигиена труда. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Госкомсанэпиднадзор России, М, 1994, 42 с.
12. ISO 7730 1994, ASHRAE Standard 55, 1992 г.
13. ASHRAE Handbook of Fundamentals 1993
14. ISO Standard 7726, 1985;
15. ASHRAE Standard 55, 1992;
16. ASHRAE Standard 113, 1990.

ГЛАВА 5. АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Парк аппаратных средств контроля параметров микроклимата, использующихся в настоящее время, включает широкую гамму измерительных приборов – от простейших, сконструированных несколько десятилетий назад, до современных высокоточных, с встроеными микропроцессорами и программным управлением.

Эти приборы применяются при производстве, эксплуатации и техническом обслуживании вентиляционного и отопительного оборудования, систем кондиционирования и увлажнения воздуха и пр. Предлагается широкий выбор измерителей для выполнения различных измерительных задач. Например, перечень только отечественных приборов, предназначенных для экологического контроля (см.ниже § 3 состоит из десятков типов приборов, если сюда включить приборы зарубежных фирм, их число перевалит сотню. В такой ситуации трудно сделать осознанный выбор, тем более оптимизированный по отношению цена / качество. Существует опасность приобретения прибора, использование которого будет проблематичным.

Основное, из чего следует исходить при выборе прибора, это, очевидно, цель с которой предполагается его использование: исследования, производственный контроль, рутинный мониторинг, контроль норм и т.п. Важно также – насколько интенсивно предполагается использовать Измеритель. Для проведения разовых или достаточно редких измерений можно не принимать во внимание его сервисные возможности, если же предполагается постоянное использование Измерителя, его сервисные возможности приобретают важное значение.

При выборе измерителя следует принимать во внимание не только выполняемые функции, такие как перечень измеряемых параметров, точность, быстродействие, но и качество прибора, его надежность, стоимость обслуживания, универсальность применения, возможность работы в составе измерительной системы.

Следует иметь в виду, что задачи экологического контроля достаточно специфичны. Например, биологическое воздействие метеопараметров не слишком селективно по отношению к их вариациям, соответственно и приборы контроля должны быть широкополосными, в отличие от большинства технических приложений, где избирательность – важный параметр. С другой стороны, в задачах экологического контроля часто необходимы длительные серии измерений довольно переменных величин, поэтому к приборам предъявляются жесткие требования по стабильности и длительности автономных измерений с возможностью запоминания длинных рядов данных.

При использовании Измерителей в некоторых ситуациях самым важным является быстродействие, надежность. В других случаях (например – при решении исследовательских проблем) нужна высокая точность, высокая разрешающая способность, хорошее подавление кросс-эффектов. Как правило, требования многих потребителей лежат где-то посередине.

При приобретении специфического прибора следует исходить из предполагаемой основной области применения и особенностей объекта контроля. Для многих измерительных задач нет необходимости использования самых чувствительных измерителей, так как применяемые датчики не позволяют реализовать предельную чувствительность прибора. Высокочувствительные прецизионные измерители рассчитаны, в основном, на работу в автономном режиме, а не в быстроредействующем автоматизированном комплексе.

При необходимости измерений полей сложной временной зависимости (напр. – вариаций метеопараметров, см. гл.2) следует оценивать быстроредействие и динамический диапазон входных сигналов и, исходя из таких оценок, выбирать соответствующий измеритель.

§ 5.1. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ СЕНСОРОВ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ

5.1.1. Измерение температуры

Проблемы разработки методов и средств измерения температуры рассматриваются на стыке двух наук – метрологии и прикладной физики, называемый «Термометрия». В задачи этой науки входит обеспечение единства и точности температурных измерений: установление температурных шкал, создание эталонов, разработка методик градуировки и поверки приборов для измерения температуры.

Температура не может быть измерена непосредственно. Об ее изменении судят по изменению других физических свойств тел (объема, давления, электрического сопротивления, ЭДС, интенсивности излучения и др.), связанных с температурой определенными закономерностями. Поэтому методы измерения температуры являются по существу методами измерения указанных выше термометрических свойств, которые должны однозначно зависеть от температуры и измеряться достаточно просто и точно. При разработке конкретного метода или прибора необходимо выбрать термометрическое вещество, у которого соответствующее свойство хорошо воспроизводится и достаточно сильно изменяется с температурой.

Методы измерения температуры разнообразны; они зависят от принципов действия используемых приборов, диапазонов измеряемых температур, условий измерений и требуемой точности. Их можно разделить на две основные группы: контактные методы – собственно термометрия, и бесконтактные методы – термометрия излучения, или пирометрия. Последняя подробно описана в следующем разделе.

Общим и существенным для всех контактных методов измерения температуры является то, что всякий прибор, измеряющий температуру среды, должен находиться с ней в тепловом контакте, то есть иметь одинаковую со средой температуру.

Основными узлами всех приборов для измерения температуры являются: чувствительный элемент, где реализуется термометрическое свойство, и связанный с ним измерительный прибор, который измеряет численные значения этого свойства. В газовой термометрии термометрическим свойством является температурная зависимость давления газа (при постоянном объеме) или объема газа (при постоянном давлении), соответственно различают – газовые термометры постоянного объема и пос-

тоянного давления. Термометрическое вещество в этих термометрах – газ, приближающийся по своим свойствам к идеальному. Точность прибора зависит от степени приближения используемого газа (азот, гелий) к идеальному.

Термометрические свойства веществ связаны с температурой нелинейно и степень нелинейности различна для разных свойств. Поэтому при точных измерениях вещественную температуру по эмпирической температурной шкале, называют условной ("ртутная", «платиновая» температура и т.д.), ее единицу – условным градусом. Среди эмпирических температурных шкал особое место занимают газовые шкалы, в которых термометрическим веществом служат газы ("азотная", «водородная», «гелиевая»). Эти шкалы меньше других зависят от применяемого газа и могут быть (введением поправок) приведены к теоретической газовой температурной шкале Авогадро, справедливой для идеального газа (газовый термометр).

В конденсационных термометрах термометрическим свойством является температурная зависимость давления насыщенных паров жидкости. Чувствительный элемент – резервуар с жидкостью и находящимися с ней в равновесии насыщенными парами – соединен капилляром с манометром. Термометрические вещества – обычно низкокипящие газы: кислород, аргон, неон, водород, гелий. Диапазон применения конденсационного термометра ограничен. Высокоточные термометры (до 0,001 град) служат для реализации реперных точек.

В жидкостных термометрах метрическим свойством является тепловое расширение жидкостей, термометрическим веществом – главным образом ртуть. При определении температуры не производят измерений объема жидкости; для этого при изготовлении калибруют капилляр термометра в °C, то есть по его длине наносят отметки с интервалами, соответствующими изменению объема при заданном изменении температуры. Точность термометра зависит от точности калибровки. Для хороших ртутных термометрах она может достигать 0,05°C.

В термометрах сопротивления термометрическим свойством является температурная зависимость электрического сопротивления чистых металлов, сплавов, полупроводников. Что именно используется в качестве термометрического вещества, определяется в зависимости от области температурных измерений и требуемой точности. Для определения температуры по измеренному электрическому сопротивлению пользуются эмпирическими формулами или таблицами. Термометры для точных измерений (платина, легированный германий) градуируются индивидуально. С такими термометрами может быть достигнута точность измерения до 0,01°C.

В термометрах термоэлектрических с термопарой в качестве чувствительного элемента термометрическим свойством является термо-ЭДС термопары; термометрические вещества разнообразны и выбираются в зависимости от области применения и требуемой точности. Для определения температуры по измеренной ЭДС также пользуются эмпирическими формулами или таблицами. В связи со спецификой термоэлектрического термометра (дифференциального прибора) его точность зависит от точности поддержания и измерения температуры одного из спаев термопары ("реперного» спая).

Измерительные приборы, которыми определяют численные значения термометрических свойств (манометры, потенциометры, логометры, мосты измерительные, милливольтметры и т. д.), называются вторичными приборами. Точность измерения температуры зависит от точности вторичных приборов. Термометры технического

применения обычно индивидуально не градуируются и комплектуются соответствующими вторичными приборами, шкала которых нанесена непосредственно в °С.

Для обеспечения единства и точности температурных измерений служит Государственный эталон единицы температуры – кельвин, что позволяет в диапазоне 1,5-2800 К воспроизводить Международную практическую температурную шкалу (МПТШ) с наивысшей достижимой в настоящее время точностью.

5.1.2. Пирометрия

Оптико-электронные методы позволяют измерять температуру объекта путем анализа параметров потока теплового излучения от него. В основе этих методов лежит зависимость спектрального распределения плотности энергии излучения объекта от температуры.

Область прикладной науки, называемая оптической пирометрией, представляет собой совокупность методов определения сравнительно высоких температур, основанных на измерении интенсивности излучения света нагретым телом. Методы оптической пирометрии не требуют непосредственного контакта аппаратуры с исследуемым телом, позволяют измерять высокие температуры, температуры удаленных тел.

Интенсивность теплового излучения сильно зависит от температуры T тел и очень резко убывает с ее уменьшением. Поэтому методы пирометрии применяют для измерения относительно высоких температур. При $T < 100^\circ\text{C}$ методы психрометр играют в целом второстепенную роль, но при $T > 500^\circ\text{C}$ они становятся главными, а при $T > 2000^\circ\text{C}$ – практически единственными методами измерения температуры. Методы пирометрии не требуют контакта датчика измерительного прибора с телом, температура которого измеряется, и поэтому могут применяться для измерения очень высокой температуры, а также температуры удаленных тел. Основное условие применимости методов пирометрии – излучение тела должно быть чисто тепловым, т. е. оно должно подчиняться закону излучения Кирхгофа. Твердые тела и жидкости при высоких температурах обычно удовлетворяют этому требованию, в случае же газов и плазмы необходима специальная проверка для каждого нового объекта или новых физических условий.

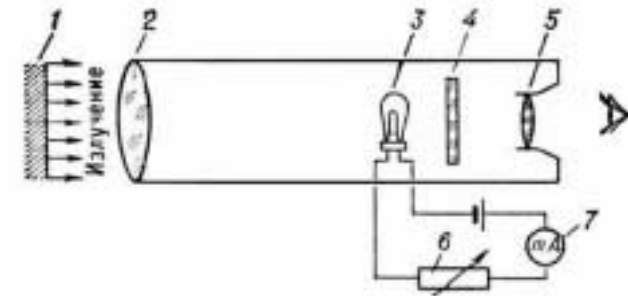
Измерения наиболее просты для твердых тел и жидкостей, характеризующихся сплошным спектром излучения. В этом случае измерения температуры осуществляют пирометрами, действие которых основано на законах излучения абсолютно черного тела. Если это возможно, поверхности исследуемого тела придают форму полости, чтобы коэффициент поглощения был близок к единице (оптические свойства такого тела близки к свойствам абсолютно черного тела).

Наиболее универсальны методы пирометрии, основанные на измерении интенсивностей спектральных линий. Они обеспечивают максимальную точность, если известны абсолютная вероятность соответствующего перехода и концентрация излучающих атомов данного сорта. Если же концентрация атомов не известна с достаточной точностью, применяют метод относительных интенсивностей, в котором температуру вычисляют по отношению интенсивностей двух (или нескольких) спектральных линий. В другой группе методов пирометрии температура определяется по форме или ширине спектральных линий, которые зависят от температуры. В некоторых методах температура определяется по абсолютной или относительной интенсивности сплошного спектра ("континуума"). К недостаткам

методов оптической пирометрии следует отнести трудоемкость измерений, сложность интерпретации результатов, невысокую точность (например, погрешности измерений температуры в лучших случаях оказываются не лучше 3-10%).

Приборы, реализующие методы оптической пирометрии – т.н. пирометры применяются для измерения температуры непрозрачных тел по их излучению в оптическом диапазоне спектра. Тело, температуру которого определяют при помощи пирометра, должно находиться в тепловом равновесии и обладать коэффициентом поглощения, близким к единице. Распространены яркостные, цветковые и радиационные пирометры. Основным типом является яркостный пирометр, обеспечивающий наибольшую точность измерений температуры в диапазоне 103-104 К. В простейшем визуальном яркостном психрометр с исчезающей нитью (рис.5.1.1) объектив фокусирует изображение исследуемого тела на плоскость, в которой расположена нить (ленточка) эталонной лампы накаливания. Через окуляр и красный фильтр, позволяющий выделять узкую спектральную область около длины волны $\lambda = 0,65$ мкм, нить рассматривают на фоне изображения тела и, изменяя ток накала нити, добиваются выравнивания яркостей нити и тела (нить в этот момент становится неразличимой). Шкала прибора, регистрирующего ток накала, прокалибрована обычно в °С или °К, и в момент выравнивания яркостей прибор показывает так называемую яркостную (T_b) тела.

Точность результата в первую очередь зависит от строгости выполнения условий пирометрии, измерений. Основная инструментальная погрешность обусловлена температурной нестабильностью лампы. Заметную погрешность могут вносить также индивидуальные особенности глаза наблюдателя. У фотоэлектрических пирометров этот вид погрешности отсутствует. Погрешность образцовых лабораторных фотоэлектрических пирометров не превышает сотых долей градуса при $T = 1000^\circ\text{C}$. Промышленные серийные фотоэлектрические пирометры обладают на порядок большей погрешностью, визуальные – еще на порядок большей. Образцовые яркостные пирометры приняты в качестве основных интерполяционных приборов, определяющих Международную практическую температурную шкалу (МПТШ-68) при температурах выше точки затвердевания золота ($1064,43^\circ\text{C}$).



Принципиальная схема визуального яркостного пирометра с исчезающей нитью: 1 – источник излучения; 2 – оптическая система (телескоп пирометра); 3 – эталонная лампа накаливания; 4 – фильтр с узкой полосой пропускания; 5 – окуляр; 6 – реостат, которым регулируют ток накала; 7 – измерительный прибор (миллиамперметр).

Рисунок 5.1.1.

Наиболее чувствительны (но и наименее точны) радиационные пирометры, или пирометры суммарного излучения, регистрирующие полное излучение тела. Действие их основано на законах излучения Стефана – Больцмана и Кирхгофа. Объектив радиационных психрометр фокусирует наблюдаемое излучение на приемник (обычно термостолбик или болометр), сигнал которого регистрируется прибором, прокалиброванным по излучению абсолютно черного тела и показывающим радиационную температуру T_r , которая с точностью до коэффициента черноты поверхности излучающего тела совпадает с истинной температурой тела: $T = T_r \cdot \alpha^{\frac{1}{\epsilon}}$. Радиационными пирометрами можно измерять температуру, начиная с 200°K. В промышленности радиационные пирометры широко применяют в системах контроля и управления температурными режимами разнообразных технологических процессов.

5.1.3. Измерение влажности воздуха

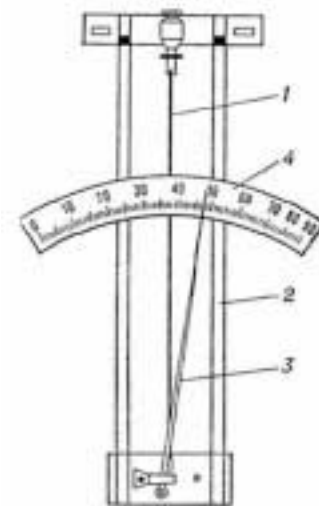
Для измерения влажности воздуха разработаны приборы, различающиеся принципом действия, но называемые одинаково – **Гигрометры** – по виду измерения для которого они предназначены. Существует несколько типов гигрометров, действие которых основано на различных принципах: весовой, волосной, пленочный и др.

Весовой (абсолютный) гигрометр состоит из системы U-образных трубок, наполненных гигроскопическим веществом, способным поглощать влагу из воздуха. Через эту систему насосом протягивают некоторое количество воздуха, влажность которого определяют. Зная массу системы до и после измерения, а также объем пропущенного воздуха, находят абсолютную влажность.

Действие волосного гигрометра (см. рис. 5.1.2) основано на свойстве обезжиренного волоса (обычно используется конский или человеческий) изменять свою длину при изменении влажности воздуха, что позволяет измерять относительную влажность от 30 до 100%. Волос 1 натянут на металлическую рамку 2. Изменение длины волоса передается стрелке 3, перемещающейся вдоль шкалы 4. Пленочный гигрометр сконструирован аналогично, но имеет чувствительный элемент из органической пленки, которая растягивается при повышении влажности и сжимается при понижении. Волосной и пленочный гигрометры в зимнее время являлись основными приборами для измерения влажности воздуха. Показания волосного и пленочного гигрометров периодически сравниваются с показаниями более точного прибора – психрометра, который также применяется для измерения влажности воздуха.

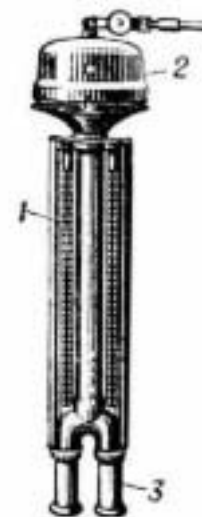
До недавнего времени наиболее точными приборами для измерения влажности воздуха были **Психрометры**. Этот прибор состоит из двух термометров – сухого и смоченного. Сухой термометр показывает температуру воздуха, а смоченный, теплоприемник которого обвязан влажной тканью (батистом), – его собственную температуру, зависящую от интенсивности испарения, происходящего с поверхности его резервуара.

Вследствие расхода теплоты на испарение показания смоченного термометра тем ниже, чем суше воздух, влажность которого измеряется. По показаниям сухого и смоченного термометров с помощью психрометрической таблицы, номограмм или счетных линеек, рассчитанных по психрометрической формуле, определяется упругость водяного пара или относительная влажность. При отрицательных температурах ниже -5°С, когда содержание в воздухе водяных паров очень мало, психрометр дает ненадежные результаты, поэтому в этом случае пользуются волосным гигрометром.



Волосной гигрометр:
1 – волос; 2 – рамка; 3 – стрелка; 4 – шкала

Рисунок 5.1.2



Внешний вид аспирационного психрометра: 1- термометры; 2 – аспиратор; 3 – трубки

Рисунок 5.1.3

Существует несколько типов психрометров: стационарные, аспирационные и дистанционные. В стационарных психрометрах термометры укрепляются на специальном штативе в метеорологической будке. Основной недостаток стационарных психрометров – зависимость показаний смоченного термометра от скорости воздушного потока в будке. В аспирационном психрометре (см. рис. 5.1.3) термометры укреплены в специальной оправе, защищающей их от повреждений и теплового воздействия прямых солнечных лучей, и обдуваются с помощью аспиратора (вентилятора) потоком исследуемого воздуха с постоянной скоростью около 2 м/сек. При положительной температуре воздуха аспирационный психрометр – наиболее надежный прибор для измерения влажности и температуры воздуха. В дистанционных психрометр используются термометры сопротивления, термисторы, термопары.

Действие керамического гигрометра основано на зависимости электрического сопротивления твердой и пористой керамической массы (смесь глины, кремния, каолина и некоторых окислов металла) от влажности воздуха.

Конденсационный гигрометр определяет точку росы по температуре охлаждаемого металлического зеркала в момент появления на нем следов воды (или льда), конденсирующейся из окружающего воздуха. Конденсационный гигрометр состоит из устройства для охлаждения зеркала, оптического или электрического устройства, фиксирующего момент конденсации, и термометра, измеряющего температуру зеркала. В современных конденсационных гигрометрах для охлаждения зеркала используются полупроводниковый элемент, принцип действия которого основан на Пельтье эффекте, а температура зеркала измеряется вмонтированным в него проводочным сопротивлением или полупроводниковым микротермометром.

В электролитическом гигрометре пластинку из электроизоляционного материала (стекло, полистирол) покрывают гигроскопическим слоем электролита – хлористого лития – со связующим материалом. При изменении влажности воздуха меняется концентрация электролита, а следовательно, и его сопротивление; недостаток этого гигрометра – зависимость показаний от температуры.

Большое распространение в свое время получили электролитические гигрометры с подогревом, действие которых основано на принципе измерения точки росы над насыщенным соляным раствором (обычно хлористым литием), которая для данной соли находится в известной зависимости от влажности. Чувствительный элемент состоит из термометра сопротивления, на корпус которого надет чулок из стекловолокна, пропитанный раствором хлористого лития, и двух электродов из платиновой проволоки, намотанных поверх чулка, на которые подается переменное напряжение.

5.1.4. Измерение скорости движения воздуха.

Для измерения скорости потока воздуха (в производстве – и других газов) используются приборы, называемые Анемометры. Наиболее известен ручной чашечный анемометр (см. рис. 5.1.4), измеряющий среднюю скорость ветра.

Горизонтальная крестовина с 4 полыми полушариями (чашками), обращенными выпуклостью в одну сторону, вращается под действием ветра, т. к. давление на вогнутое полушарие больше, чем на выпуклое. Это вращение передается стрелкам счетчика оборотов. Число оборотов за данный отрезок времени соответствует определенной

средней скорости ветра за это время. При небольшой завихренности потока средняя скорость ветра за 100 сек определяется с погрешностью до 0,1 м/сек.



Рисунок 5.1.4

Для определения средней скорости потока воздуха в трубах и каналах вентиляционных систем применяют крыльчатые анемометры, приемной частью которых служит многолопастная мельничная вертушка (см.рис.5.1.5).



Рисунок 5.1.5

Погрешность крыльчатых анемометров – до 0,05 м/сек.

К недостаткам механических анемометров относятся сравнительно небольшая чувствительность (измерения дают паспортную точность начиная с 0,3 – 0,5 м/с) и инерционность. Мгновенные значения скорости ветра определяются другими типами анемометров, в частности анемометрами, основанными на манометрическом способе измерений и термоанемометрами.

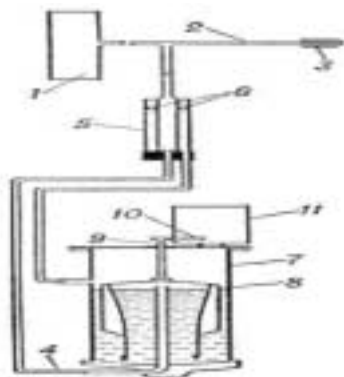


Рисунок 5.1.6

Сенсорным элементом манометрического анемометра (см.рис.5.1.6) служит трубка Пито (2). Трубка Пито ориентируется флюгаркой (1) так, что она всегда обращена открытым концом (3) навстречу потоку. Создаваемое в этой трубке давление передается регистрирующей части, состоящей из цилиндрического сосуда (7), частично заполненного смесью глицерина с водой, в которой плавает поплавок (8), несущий стержень (9) с пером (10). Запись ведется на ленте, надетой на барабан (11), вращаемый часовым механизмом. Воздух под поплавком соединяется с «динамической» трубкой (4) приемника, а воздух над поплавком сообщается со «статической» трубкой (5) приемника, соединенной с атмосферой через отверстия (6). Под действием ветра под поплавком создается повышенное давление, а над поплавком – пониженное. В результате поплавок поднимается, и перо отмечает на барабане это повышение давления. Манометрический анемометр применяют для регистрации порывистости ветра; точность измерений 0,5-0,8 м/сек. Иногда манометрический анемометр конструктивно объединяют с чашечными. На метеостанциях такие приборы позволяют получить наиболее полные данные о ветре.

Термоанемометр – прибор для измерения скорости потока жидкости или газа от 0,1 м/сек и выше, принцип действия которого основан на зависимости между скоростью потока v и теплоотдачей проволоки, помещенной в поток и нагретой электрическим током. Основная часть термоанемометров – измерительный мост (см. рис.5.1.7), в одно плечо которого включен чувствительный элемент в виде нити из никеля, вольфрама или из платины длиной 3-12 мм и диаметром 0,005-0,15 мм, укрепленной на тонких электропроводных стержнях

Количество тепла, передаваемое нагретой проволокой потоку жидкости (газа), зависит от физических характеристик движущейся среды, геометрии и ориентации проволоки. С увеличением температуры проволоки чувствительность термоанемометра увеличивается. Благодаря малой инерционности, высокой чувствительности, точности и компактности термоанемометры широко применяются при изучении неустановившихся движений и течений, для определения направления скорости потока (двух- и трехниточные термоанемометры) и главным образом – турбулентности воздушных потоков.

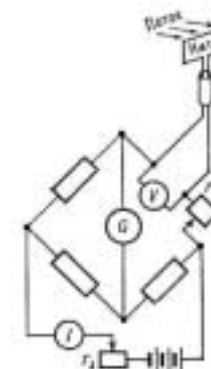


Рисунок 5.1.7

§ 5.2. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТУРЫ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА

В предыдущем §5.1 были описаны принципы работы построения сенсоров приборов для измерения метеопараметров. Все они были предложены и реализованы ранее середины прошлого века. С тех пор в приборостроении произошли значительные изменения, затронувшие и конструкции приборов для измерения метеопараметров. Основное – широкое внедрение электроники. Если раньше датчики были непосредственно связаны с отсчетными устройствами (газовые и жидкостные термометры, волосяные и пленочные психрометры, термогигрометры, механические анемометры и пр.), то в последние десятилетия в приборы вводились промежуточные звенья – преобразователь исходного сигнала в электрический и электронный блок, в котором происходит более – менее серьезная обработка электрического сигнала.

Стандартная схема Измерителя метеопараметров приведена на рис. 5.2.1.



Рис. 5.2.1. Основные блоки Измерителя

Соответственно, в качестве Преобразователей в современных приборах предпочитают использовать объекты, в которых метеопараметр непосредственно преобразуется в электрический сигнал. Для измерения температуры удобны термосопротивления, тер-

мопары и т.п. В пирометрах используются селективные фотодиоды и фотосопротивления, в гигрометрах – ячейки из твердых электролитов, в механических анемометрах – электронные тахометры, в термоанемометрах – нагреваемые термисторы.

Несмотря на некоторое усложнение конструкции прибора, введение электронной части позволило существенно увеличить чувствительность и стабильность работы, а также сделало приборы более надежными и удобными в обращении.

Блок обработки, как правило, включает в себя:

- усилители,
- фильтры,
- выпрямители сигналов,
- корректирующие элементы.

Индикатор – либо:

- стрелочный (характерно для старых измерителей) прибор,
- жидкокристаллический индикатор (современные измерители),
- то и другое вместе (как правило – в дорогих моделях измерителей).

В последних случаях (при выводе результата на жидкокристаллический индикатор) сигнал предварительно цифруется.

Приборы, выполненные по такой схеме, могут быть предназначены для решения довольно широкого круга задач, которые можно объединить по главному признаку.

5.2.1. Измерение параметров сигналов без анализа их характеристик

Это наиболее быстрые и простые измерения, при которых Измеритель выполняет функции, свойственные Измерителям сигналов общего применения. При таких измерениях регистрируются:

- текущие значения сравнительно медленно меняющихся сигналов в заданный момент времени,
- средние, максимальные или минимальные значения сигналов в заданном временном окне.

Практически все преобразователи векторной величины (например – скорости движения воздуха) характеризуются направленностью приема, т.е. результат измерения поля будет зависеть от угла между направлением вектора и направлением оси чувствительности датчика преобразователя. Использование Измерителей с такими преобразователями требует либо проведения измерений при различных ориентациях датчика и выбора в качестве результата максимального по всем направлениям значения, либо измерения вектора вдоль трех взаимно перпендикулярных направлений и подсчета среднеквадратического значения из этих величин.

5.2.2. Процессорные Измерители

Появление микропроцессоров привело к революционным переменам в архитектуре всего приборостроения, в том числе и в области Измерителей метеопараметров. Процессорные Измерители работают с числами, получающимися после оцифровки входных сигналов. Они являются наиболее перспективными приборами, как для проведения единичных, так и повторяющихся рутинных измерений. Блок-схема процессорного Измерителя приведена на рис.5.2.2.

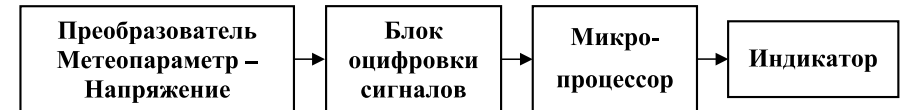


Рис. 5.2.2. Основные блоки процессорного Измерителя

В измерительной схеме приборов этого класса использован метод регистрации мгновенных значений сигнала с последующим аналого-цифровым преобразованием и математической обработкой результатов.

Внешние проявления прогресса – тенденция к постоянному повышению уровня пользовательских функций: автоматизация измерений, освобождение оператора от рутинных подготовительных и вычислительных операций, документальной фиксации результатов. Более серьезные изменения касаются расширения функциональных возможностей приборов. Повышение степени интегрированности микросхем и микроконтроллеров, совершенствование технологий позволяют наращивать функциональные возможности приборов с одновременным уменьшением их веса и габаритов. В настоящее время с помощью компактных, портативных приборов можно выполнять измерения, которые еще недавно были доступны только стационарной аппаратуре значительного веса и габаритов.

5.2.3. Измерение параметров сигналов с анализом их статистических характеристик

Современные Измерители используются для аналого-цифрового преобразования сигналов с возможностью записи и хранения информации о них, вывода графической информации о сигнале на внешний дисплей, автоматического измерения различных параметров сигнала:

Важное значение при обработке результатов измерения имеет возможность выделения сигналов из шумов, наводок, флуктуаций. Как правило, для этого требуется иметь возможность накопления и усреднения сигналов по множеству реализаций, а так же возможность локализации помех с помощью перемещаемого временного окна.

Усреднение сигналов. В этом режиме обеспечивается измерение параметров усредненного сигнала. При этом результаты обновляются на экране после записи заданного количества реализаций. Число записанных реализаций и коэффициент усреднения индицируются на экране прибора. В результате математической обработки массива запомненных данных определяются наиболее значимые параметры.

Представляет реальный интерес возможность определения амплитудного распределения сигналов (гистограммы) в координатах «относительная частота – амплитуда». Гистограмма характеризует плотность вероятности появления случайных событий и может использоваться для определения их статистических характеристик, в простейшем случае – дисперсии и среднеквадратического отклонения сигнала. При

более углубленном анализе эти данные можно использовать для определения параметров вероятностной логики принятия решений.

5.2.4. Система интерфейса для сопряжения устройств

Многие современные приборы имеют стандартный RS 232 интерфейс, что позволяет при создании тестовых и измерительных систем объединить их с приборами и устройствами многих стран-производителей измерительной и компьютерной техники.

Система интерфейса (интерфейс) предназначена для связи тестовых измерительных приборов, периферийных устройств и контроллеров – персональных компьютеров, мини-компьютеров – при использовании их в автоматизированной системе измерений.

В большинстве современных измерительных приборов, имеющих интерфейсный порт, интерфейс реализован в соответствии со стандартом RS 232 (байт-последовательная асинхронная передача). В настоящее время сотни фирм в десятках стран мира выпускают тысячи устройств с RS 232 – интерфейсом. Соответственно, задача создания автоматической системы измерений становится более простой за счет:

- наличия большого выбора компьютеров для использования в качестве контроллера автоматической системы измерений;
- наличия большого выбора совместимых контрольно-измерительных приборов и периферийных устройств для создания автоматической системы измерений;
- тщательной апробации и отработки принципов стыковки устройств, наличия базового программного обеспечения в компьютерах применительно к интерфейсу RS 232.

Решение использовать автоматическую систему измерений вместо обыкновенных («вручную») методов измерений должно быть основано на технической оценке преимуществ с учетом затрат. Преимущества, связанные с использованием автоматической системы измерений:

- более точные результаты при повторяющихся измерениях – работа системы не зависит от уровня квалификации и внимания персонала;
- более высокая производительность – автоматическая система измерений может работать с более высокими скоростями;
- более полное испытание – обеспечивается измерение большого количества параметров на высокой скорости, т.е. за более короткий временной интервал;
- результаты измерений выражаются в виде, необходимом для их обработки в контроллере, при этом обработка может вестись с использованием самых современных методов анализа результатов;
- высокий уровень точности – ошибки системы могут измеряться автоматически, храниться в памяти компьютера и обрабатываться до получения конечных результатов;
- результаты измерений можно распечатывать или сохранять в памяти компьютера для последующего использования.

В настоящее время комбинация вышеперечисленных условий может обеспечить значительное сокращение затрат на разработку автоматической системы измерений.

5.2.5. Самотестирование и автокалибровка

Принципы цифровой калибровки, используемые в процессорных Измерителях, обеспечивают коррекцию погрешностей аналоговых устройств путем учета соответ-

ствующих поправочных коэффициентов. Поправки смещения нуля, коррекция нелинейности и относительные масштабные коэффициенты определяются при выполнении автокалибровки. Встроенные калибраторы обеспечивают автоматическую калибровку прибора и проверку основных погрешностей измерения при тестировании с возможной выдачей результатов тестирования на экран.

Автокалибровка выполняется после включения прибора и в любое время по выбору пользователя.

Общие масштабные коэффициенты вносятся при внешней калибровке прибора по образцовым мерам. Калибровочные коэффициенты хранятся в энергонезависимом запоминающем устройстве.

Самодиагностика и самоконтроль параметров. Позволяет полностью контролировать не только работоспособность прибора, но и его метрологические характеристики. Прилагаемые в технической документации алгоритмы поиска неисправностей облегчают ремонт прибора

Во многих приборах реализуется режим консультативных сообщений, исключающих неправильные действия оператора.

§ 5.3. ЧАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АППАРАТУРЫ МОНИТОРИНГА МЕТЕОПАРАМЕТРОВ

Перечень возможных свойств аппаратуры мониторинга метеопараметров, приведенный в предыдущем параграфе, является результатом суммирования характеристик реальных приборов. Для реальных измерительных задач большая часть возможностей, описанных выше, просто не требуется и соответствующие приборы разрабатываются и конструируются по упрощенным схемам. Следует, однако, признать, что возможности многих из выпускаемых в настоящее время приборов не в полной мере соответствуют тем требованиям, выполнение которых необходимо для проведения полноценного мониторинга согласно действующим нормативам.

Эти положения иллюстрируются ниже на конкретных примерах. Указать все приборы, предлагаемые сегодня на рынке измерительной техники, не представляется возможным – их столько, что подробный перечень увеличил бы объем книги до недопустимых размеров. Ниже даются ссылки на наиболее интересные, на наш взгляд, новинки в интересующей нас области. Следует отметить, что, как правило, приборы специализированы для измерения одного (максимум – двух) параметра. Приборов для проведения комплексного мониторинга климатических параметров (обычно в назывании таких приборов встречается приставка «метео», например «метеостанция», «метеометр», «метеоскоп») значительно меньше. Ниже этот класс приборов описан более подробно.

5.3.1. Термометры

Современная микроэлектроника позволила создать цифровые электронные термометры значительно более удобные и безопасные в эксплуатации чем традиционные ртутные термометры. Хотя такие термометры несколько дороже ртутных, они уверенно вытесняют своих предшественников. Электронные термометры оснащены удобным для считывания результата цифровым дисплеем на жидких кристаллах, звуковой сигнализацией, памятью, автоматическим выключением и другими сервисными

функциями. Они снабжены автономным электропитанием от батарейки, срок службы которой составляет несколько лет. Имея пластиковый корпус, электронные термометры более устойчивы к ударам, чем стеклянные ртутные. Спектр предлагаемых приборов чрезвычайно широк. Различия сводятся к метрологическим характеристикам и к пользовательским свойствам. Следует отметить, что по тем и другим параметрам отечественная продукция практически не отличается от импортной, однако в категории профессиональных (высокоточных и надежных) измерителей, отечественные существенно выигрывают по цене. Ниже приведены примеры наиболее распространенных типов электронных термометров.

Электронный цифровой термометр Little Doctor SB-70



Рисунок 5.3.1

Основные особенности термометра:

- Легкочитаемый жидкокристаллический экран.
- Безопасен, не содержит ртути.
- Время измерения: – орально 1 минута; – подмышечно 3-4 минуты.
- Звуковой сигнал по окончании измерения.
- Память на последнее измерение.
- Сменный элемент питания (аналог СЦ21).
- Вес менее 10 г.
- Автоматическое отключение после окончания измерения.
- Погрешность измерений: $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ (в диапазоне $35,0^{\circ}\text{C} - 38,0^{\circ}\text{C}$)
- Ресурс батарейки – более 3 лет, при использовании каждый день около 10 минут.
- Производитель Little Doctor International (S) Pte. Ltd., Сингапур

Термометр электронный карманный. Paderno S.r.l. (Италия) Модель: 49880-06



Рисунок 5.3.2

Технические характеристики:

Вес:	0,11 кг
Габаритные размеры (LxDxH):	153 x 47 x 19 мм
Диапазон температур:	-50...+300°C
Шкала	1°C.
Точность измерения	$\pm 1\%$
Время работы	200 часов
Жидкокристаллический дисплей	12,7 мм

Прибор выполнен из пластика высокой плотности. Автоматическое включение, выключение через 5 мин.

Термометр карманный EDEN



Рисунок 5.3.3

ОПИСАНИЕ:

- Диапазон -40.0...+650°C
- Разрешение 1°C
- Точность $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$

В термометре EDEN используется термопарный датчик К-типа с однометровым кабелем. Имея время отклика в воде менее 20 сек., термометры EDEN – идеальное средство для рутинных температурных измерений. Для мониторинга температуры в газах и воздухе наиболее подходит датчик С- типа. Датчик типа М предназначен для измерения температуры различных поверхностей. Проникающий датчик Р-типа применяется для измерений внутри тел и материалов. Датчик L-типа используется для измерения температуры в жидкостях. Все модификации датчиков выполнены из прочной нержавеющей стали AISI 316, устойчивой к действию химических реагентов и эксплуатации во влажных условиях.

ETI-2001



Рисунок 5.3.4.

Назначение: Цифровой термометр с воздушной (-50...+200°C), контактной (-50...+1000°C), погруженной (-50...+200°C) термопарами. Работает с К термопарами.

Описание:

Цифровой двухдиапазонный термометр широкого применения, использующий в качестве датчиков температуры сменные термопары типа К. Применяется при проведении энергетических обследований, для контроля различных технологических процессов.

Диапазон измерений	от -49,9 до +199,9°C
Разрешение	0,1°C
Точность	±0,5°C ±1%
Длина рабочей части термопар	130 мм
Питание	батарейки 9 В ("Крона")
Срок работы батареи	150 часов
Тип сенсора	термопара (К тип)
Вывод информации	дисплей
Размеры	141x73x35 мм
Вес	220 г

Ручной измерительный прибор P650 / P655



Рисунок 5.3.5.

Этот универсально настраиваемый, управляемый процессором измерительный прибор идеально подходит для задач измерения с повышенной точностью или для документирования в режиме реального времени.

- осуществление контроля качества в соответствии с ISO 9000
- контрольный прибор на производстве
- контрольный прибор сервисного и технического обслуживания
- измерение температуры и влажности при контроле за окружающей средой и погодой
- долговременный контроль температуры и влажности в Online-режиме

Многофункциональный прибор имеет точность выше +/- 0,03°C. Можно подключать платиновый датчик температуры Pt100 и датчик влажности. Высокая измерительная точность этих приборов может использоваться при перепроверке подконтрольных приборов, например в QS-лабораториях, а также при контроле температурно критичных процессов.

5.3.2. Пирометры

До недавнего времени (10 – 20 лет назад) методы пирометрии применяли только для измерения относительно высоких температур (выше нескольких сот градусов Цельсия) При T<1000°C методы пирометрии играли в целом второстепенную роль, и только при T>1000°C они были главными, а при T>3000°C – практически единственными методами измерения температуры. Методы пирометрии использовались только в промышленных и лабораторных условиях для определения температуры в печах и др. нагревательных установках, температуры расплавленных металлов и изделий из них (проката и т.п.), температуры пламен, нагретых газов, плазмы.

Ситуация коренным образом изменилась в последнее время с появлением чувствительных фотоприемников в инфракрасном диапазоне. В настоящее время существуют пирометры с помощью которых можно измерять даже отрицательные (по шкале Цельсия) температуры.

Использование методов пирометрии для измерения температуры тел обладает рядом очевидных преимуществ бесконтактного способа перед контактными методами обычной термометрии.

- (1) измерение температуры на вращающихся поверхностях и движущихся объектах контактным способом неэффективно из-за трения
- (2) измерение температуры небольших объектов контактным способом затруднено, так как происходит перераспределение энергии между зондом и объектом измерения, и в результате температура объекта может существенно измениться; это же относится к измерению температуры тела с неровной поверхностью, контактирующего с термометром лишь в отдельных точках, температура которых может существенно отличаться от температуры основной массы тела.
- (3) часто требуется измерение температуры поверхностей, недоступных для прямого контакта: детали электрооборудования под напряжением, тонкие пленки или поверхности с покрытием, которое можно повредить; детали отопительных конструкций, промышленного оборудования, агрессивные вещества.
- (4) измерение температуры некоторых поверхностей связано с риском для жизни – высокое напряжение или высокие температуры, что не допускает использования контактных термометров.

Эти обстоятельства обуславливают широкое распространение методов пирометрии в лабораторной практике, на производстве, при санитарно-гигиенических обследованиях рабочих мест и жилых помещений.

Приведем в качестве примера описание возможностей пирометров серии Raynger MT (производство фирмы Raytek, США). Их отличительные особенности – небольшие размеры и удобство в использовании. Для измерения температуры необходимо направить его на объект измерения и нажать на триггер. На ЖКИ-дисплее высветится значение температуры поверхности объекта. Это быстрый, легкий и безопасный способ измерения температуры.

Параметры пирометров различных модификаций приведены в таблице 5.3.1.

СПЕЦИФИКАЦИЯ	
Модификация	Характеристики
RAYMT4U	Диапазон измерений: -18...+275°C

	Точность: 2-3% от ИВ Оптическое разрешение: 6:1 Фиксированный коэффициент излучения – 0.95 Лазерный прицел (класс 2)
RAYMTISG	Взрывобезопасная версия MT4 для измерения температуры в опасных зонах Сертифицирован класс Ex II 2 G EEx ia IIC T4
RAYMTISG	Диапазон измерений: -30...+200°C Оптическое разрешение: 6:1 Фиксированный коэффициент излучения – 0,97 Лазерный прицел (класс 2)
RAYMTISG	Набор из пирометра RAYMTFSU и контактного пробника CTFS (-50...+200°C), кейс для переноски

Внешний вид пирометров приведен на рис. 5.3.6 и 7



Рисунок 5.3.6



Рисунок 5.3.7

Внешний вид некоторых моделей отечественных пирометров приведен на рис. 5.3.8. Показаны модели низкотемпературных пирометров (от -20°C до 200°C) «Факел» и «Фаворит», а также высокотемпературный пирометр «Самоцвет» (от 400°C до 1600°C). Приборы выпускает Научно-производственная ассоциация «Техно-АС» (Россия).



Рисунок 5.3.8

Достаточно широкий перечень используемых на территории РФ пирометры с краткими техническими характеристиками приведен в таблице 5.3.2.

Портативные ИК-термометры			
Модель	Диапазон измерения, °C	Показатель визирования	Дополнительные функции
Отечественные приборы			
С-110 «Факел» ("ТЕХНОАС")	-20...+200	100 : 1	Точечный лазер
С-210 «Салют» ("ТЕХНОАС")	-20...+600	100: 1	Точечный лазер
С-300 «Фаворит» ("ТЕХНОАС")	-20...+200	100 : 1 150 : 1	Точечный лазер
С-500 «Самоцвет» («ТЕХНОАС»)	+400... +1600	100: 1 150: 1	Оптический прицел
С-600 ("ТЕХНОАС")	+700...+1900 +800...+2200	180: 1	Оптический прицел
С-3000 ("ТЕХНОАС")	+1100...+1900	60: 1	Оптический прицел Автом. учет коэфф. излуч.
КТА ("КОНТАР")	+50...+2500	30: 1	Многоканальный
ДИЭЛТЕСТ-ТВ ("Веста-С")	+500...+1800 +700...+3000	-	Память на 63 значения
ДИЭЛТЕСТ-ТВ ("Веста-С")	+200...+1200	-	Память на 63 значения
АСТРОТЕМ («Астрон-лектро»)	-20...+200	10: 1, 30: 1, 40: 1, 120: 1, 150: 1	Лазерный или оптический прицел
"Кельвин (НПО «Диполь»)"	-30...+400 0...+600 50...+700	150: 1 180: 1	Лазерный или оптический прицел

Зарубежные приборы			
MT2, Raytek, США	-18...+275	8: 1	-
MT4, Raytek, США	-18...+275	8: 1	Точечн. лазер
MiniTempFS, Raytek, США	-30...+200	4: 1	Точечн. лазер Фиксир. коэфф. излуч.
Raynger ST20, Raytek, США (аналог Thermopoint-2)	-30...+400	12: 1	Точечн. лазер Фиксир. коэфф. излуч.
Raynger ST30, Raytek, США (аналог Thermopoint-3)	-30... +545	12: 1	Круговой лазер Фиксир. коэфф. излуч.
Raynger ST60, Raytek, США (аналог Thermopoint-6)	-30...+600	30: 1	Круговой лазер. Регулир. коэфф. излуч. Термопара.
Raynger ST80 (80-IS), Raytek, США (аналог Thermopoint-8)	-30... +760	50: 1	Круговой лазер. Регулир. коэфф. излуч. Термопара.
MX2, Raytek, США (аналог Thermopoint-62, 64)	-30 ...+900	60: 1	Круговой лазер. Регулир. коэфф. излуч. (имеется модель с цифровым выходом и памятью на 100 точек)
MX4+, Raytek, США (аналог Thermopoint-64+)	-30...+900	60: 1	Круговой лазер. Регулир. коэфф. излуч., Цифровой выход. Компьют. программа
3i, Raytek, США (аналог Thermopoint-90)	-30...+1200 (модель 1М до + 1800°C, модель 2М до +3000)	от 25 : 1 до 180 : 1	Круговой лазер. Регулир. коэфф. излуч. Цифровой выход. Компьют. программа. Спектральные фильтры для стекла и пластмасс.
PhotoTemp MX6+, Raytek, США	-30 ... +900	50: 1	Встроенная цифровая фотокамера, позволяющая фиксировать зону измерения температуры.
ULT1MAX-10	+900 ...+3000	-	Видеоискатель RS 232 (IRCON, США)
ULT1MAX-20	+600 ...+3000	-	
ULT1MAX-40	-50...+1000	-	
ULT1MAX-400	-20 ...+300	10: 1	Точечный лазер

5.3.3. Гигрометры

Классическая схема измерения влажности воздуха – сравнение показаний двух термометров (сухого и влажного, см. выше '1) реализована в выпускаемых до настоящего времени приборах ВИТ-1 и ВИТ-2. Это гигрометры психрометрические для измерения относительной влажности и температуры воздуха в диапазоне от +15 до +40°C. Внешний вид этого прибора приведен на рис. 5.3.9.

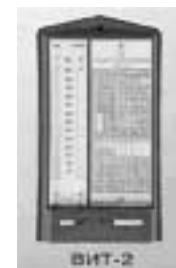


Рисунок 5.3.9

Гигрометры ВИТ-1 и ВИТ-2 состоят из пластмассового основания, на котором закреплены температурная шкала с двумя капиллярами, один из которых увлажняется фитилем из ткани, опущенным в питатель с водой, и таблица для определения относительной влажности. Питатель закреплен с внутренней стороны основания. Шкальная пластина и таблица – металлические. Несмотря на то, что назначение этого прибора скорее декоративное, у него вполне приличные метрологические характеристики.

Таблица 5.3.3

Диапазон измерения относительной влажности, %	54...90 / 40...90 / 20...90
Температурный диапазон измерения влажности, °C	20...23 / 23...26 / 26...40
Диапазон измерения температуры, °C	15...40
Цена деления шкалы, °C	0,2
Габаритные размеры, мм	не более 325x120x50
Термометрическая жидкость	Толуол или метил карбитол

Более современные приборы ИВА-6, в которых для измерения влажности используются твердотельные электролитические ячейки. Внешний вид прибора приведен на рис. 5.3.10.



Рисунок 5.3.10

Это автономный переносной прибор. Предусмотрена возможность пересчета значений относительной влажности в °C точки росы. Автоматическое выключение. Время непрерывной работы 12 месяцев. Датчик может жестко крепиться на корпусе прибора (ИВА-6Н) или находиться в выносном зонде (ИВА-6А), соединенном с прибором гибким кабелем (до 3 м). Метрологические параметры Измерителя даны в таблице 5.3.4:

Таблица 5.3.4

Рабочий диапазон температур, °C измерительный блок выносной датчик	0...50 -40...50
Диапазон измерений: относительной влажности, % температуры, °C	0...98 -40...50

Аналогичные приборы зарубежного производства – термогигрометры HI 93640 и HI 8564. Измеритель HI 93640- ручной гигрометр со встроенным сенсором, снабжен специальным чехлом для защиты от пыли и внешних воздействий окружающей среды. Идеально подходит для работы в полевых условиях. Измеритель HI 8564 – термогигрометр со сменным датчиком и малым временем отклика (95% точности за 30 сек). Он наилучшим образом подходит для измерения влажности воздуха в библиотеках, хранилищах, теплицах и т. д. Внешний вид прибора – на рис. 5.3.11.



Рисунок 5.3.11

Метрологические параметры Измерителей даны в таблице 5.3.5:

Таблица 5.3.5

	HI 93640	HI 8564
Диапазон	5,0...95,0 % RH; 0,0...60°C	10,0...95,0 % RH; 0,0...60°C
Разрешение	0,1 %RH; 0,1°C	
Точность	±2 %RH; ±0,4°C	

Сравнение метрологических характеристик приборов показывает, что отечественные Измерители не уступают по этим параметрам зарубежным.

Дальнейшее развитие пользовательских возможностей реализовано в Измерителях HI 9161 и HI 91610. Это портативные термогигрометры для постоянного мониторинга.



Рисунок 5.3.12

Прибор HI 9161 – измеритель относительной влажности воздуха и температуры с встроенным печатающим устройством. Через выбранные интервалы времени прибор распечатывает номер образца, дату и время измерения, интервал печати, значение относительной влажности и температуры. Прибор работает как от батарей (до 500 часов), так и от сетевого адаптера. У модели HI 91610 имеется память на 8000 измерений, данные из которой могут быть переданы в компьютер. Эти приборы предназначены в первую очередь для проведения мониторинга и сбора данных о колебаниях влажности и температуры.

Программное обеспечение прибора.

Программное обеспечение SmartGraph® имеет Windows совместимый протокол. Программное обеспечение предлагает разнообразные возможности online- документирования и графической или в табличном виде обработки измеряемых величин. SmartGraph идеальна в случае, когда измеряемые данные записываются и часто сравниваются или обрабатываются далее. SmartGraph дополнительно предлагает дифференцированную обработку данных в зависимости от каждого датчика с соответствующим номером. Вы можете ассоциировать датчики с определенным именем. Номер калибровки может быть легко считан прибором в online-режиме. Физическое соединение прибора с компьютером осуществляется посредством специального кабеля.

Вид представления данных на экране компьютера дан на рис. 5.3.13

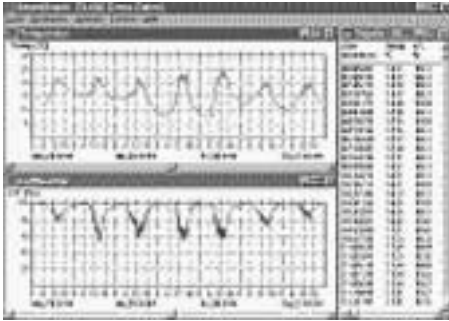


Рисунок 5.3.13

В качестве примера отечественных высококласных приборов для измерения температуры и влажности воздуха, приведем ручные измерительные приборы Р650 / Р655 (см.рис.5.3.3.ФФФ). Эти универсально настраиваемые, управляемые процессором измерительные приборы идеально подходят для задач измерения с повышенной точностью или для документирования в режиме реального времени.

Приведенные примеры демонстрируют широкие возможности выбора приборов для измерения влажности воздуха в широком диапазоне потребительских и метрологических характеристик.

5.3.4. Анемометры

Из отечественных механических (с пропеллерным датчиком скорости в качестве первичного преобразователя) анемометров до недавнего времени был наиболее популярен Анемометр АПР-2.

Анемометр снабжен легкосъемным сменным первичным преобразователем. Для каждого экземпляра первичного преобразователя определяется его индивидуальная градуировочная характеристика. Электронная схема анемометра включает в себя:

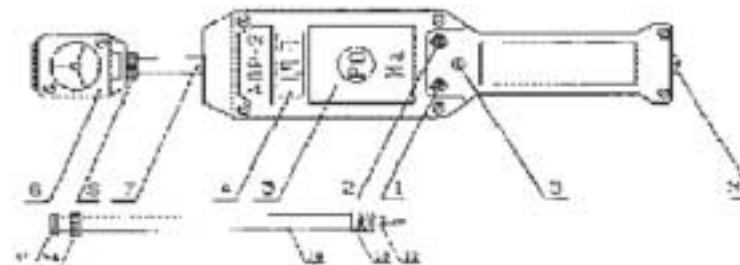
- узел формирования входного сигнала;
- узел микроконтроллера семейства MCS51;
- узел контроля напряжения источника питания.

Узел формирования входного сигнала содержит автогенератор, колебательный контур которого включает в себя катушку индуктивности, расположенную в основании пластмассового корпуса первичного преобразователя. При вращении крыльчатки каждая ее лопасть поочередно проходит через высокочастотное магнитное поле катушки и вносит в контур потери, вследствие чего в этот момент происходит снижение амплитуды генерируемых колебаний. Промодулированные таким способом высокочастотные колебания автогенератора детектируются амплитудным детектором, на выходе которого образуется последовательность импульсов напряжения с частотой следования, пропорциональной угловой скорости вращения крыльчатки. Узел также содержит цепь, которая автоматически стабилизирует режим работы автогенератора при замене первичного преобразователя и компенсирует временной дрейф добротности колебательного контура

Узел микроконтроллера выполняет следующие основные операции:

- ввод и хранение градуировочного кода;
- контроль введенного градуировочного кода в период эксплуатации;
- определение длительности интервала измерения и индикацию его текущих значений и суммарной длительности;
- вычисление и индикацию средней за интервал измерения скорости воздушного потока;
- вычисление и индикацию среднего значения ряда последовательно произведенных замеров средней скорости воздушного потока;
- формирование и индикацию сообщения о результате измерения, превышающего верхний предел измерения;
- автоматический выбор цены деления младшего разряда в диапазоне измерения;
- стирание старого и ввод нового градуировочного кода при замене первичного преобразователя;

- индикацию разряженного состояния элементов питания;
- автоматический останов измерения при реализации предельной длительности интервала измерения, индикацию его длительности, автоматическое вычисление и индикацию результата измерения.



Основные функциональные элементы: 1, 2 – кнопки управления; 3 – измерительный блок; 4 – индикатор; 5 – вывод контрольной точки; 6 – первичный преобразователь; 7 – выдвижная штанга; 8 – накидная гайка; 9 – винт; 10 – удлинитель; 11, 12 – разъемы; 13 – резьбовая втулка; 14 – накидная гайка.

Рис. 5.3.14. Анемометр АПР-2

Анемометр имеет два органа управления – левую кнопку 1 и правую кнопку 2, расположенных на лицевой панели измерительного блока 3 (рис. 1). Левая кнопка – с фиксацией, служит для включения и выключения питания анемометра. Правая кнопка – без фиксации, служит для управления режимами работы прибора.

Близок по конструкции, области применения и метрологическим характеристикам Анемометр ручной электронный АРЭ (см.рис.5.3.15) Он предназначен для измерения усредненного значения скорости ветра в полевых условиях. Состоит из датчика ветра и пульта. В качестве датчика используется чашечная вертушка. Здесь также сигнал с датчика преобразуется в электрический, в дальнейшем обрабатываемый и индицируемый электронным блоком.



Рисунок 5.3.15.

Технические характеристики анемометра:
Диапазоны измерения скорости ветра от 1 до 35 м/с;

Порог чувствительности датчика ветра не более 0,8 м/с;
Предел допустимой основной погрешности не более $+(0,5+0,05V)$, где V – скорость ветра;

Питание анемометра осуществляется от четырех элементов типа 316 общим напряжением 5 ± 1 В;

Габаритные размеры:
датчика ветра не более 120х220 мм;
пульта не более 160х80х20 мм;

Анемометр эксплуатируется при температуре окружающей среды от -20 до +50°С и относительной влажности воздуха при температуре 20°С до 80%.

В качестве примера зарубежного аналога механических анемометров приведем анемометр Skywatch Fun, который фирма-производитель (произведен в Швейцарии) позиционирует как самый маленький анемометр в мире (см.рис. 5.3.16). Без излив- шеств, очень прост в использовании. Водонепроницаемый корпус. Индицирует ре- зультаты в единицах миля/ч, км/ч, узлы, м/с.



Рисунок 5.3.16.

Технические характеристики: приведены в таблице 5.3.6.

Таблица 5.3.6

Погрешность измерения:	+/- 3%
Скорость ветра:	до 170 км/ч
Размеры:	30.5 х 83.5 х 9.5 мм
Питание:	литиевые батареи (гарантия 250.000 измерений)
Масса:	30 г
Рабочая температура:	-10 .. +50°С

В качестве примера термоанемометрического измерителя скорости ветра приведем информацию об отечественном термоанемометре ИТС-01. Измеритель предназначен для регистрации температуры и скорости газовых потоков в отходящих газах технологических процессов. Принцип действия термоанемометра основан на измерении характеристик платиновых датчиков. Питание термоанемометра автономное, с подзарядкой от сети. Анемометр имеет цифровую индикацию и 2 шкалы измерения. Он состоит (см. рис. 5.3.17) из блока индикации и измерительного зонда, имеет малые размеры, прост в эксплуатации.



Рисунок 5.3.17

- Из особенностей анемометра следует отметить:
- Простота использования.
 - Широкий температурный диапазон газовых потоков.
 - Автономное питание.
 - Малые размеры и вес.

Технические характеристики приведены в таблице 5.3.7

Таблица 5.3.6

Принцип действия	Измерение характеристик платиновых датчиков
Параметры	Воздушно-пылевые потоки с температурой до + 300°С
Диапазон работы	Температура от +5 до +300°С, скорость 0,1-20 м/сек
Точность	Температура – ± 2°С; Скорость – ± 5% (прив)
Индикация	Цифровая
Диапазон рабочих температур	от -20°С до +40°С
Время непрерывной работы	2 часа (между подзарядками аккумулятора)
Габариты	Блок: 130х80х40 мм, Зонд=40х510 мм
Масса	не более 0,8 кг

Как следует из приведенного перечня метрологических характеристик прибора, его нацеленность на промышленное применение (широкий диапазон измеряемых температур), определяет не слишком высокие точностные характеристики (например – точность измерения температуры 2°С).

§ 5.4. Приборы комплексного контроля

Большой интерес к использованию современных информационных приборов в санитарно-гигиенической практике связан с поиском эффективных и сравнительно недорогих средств для сбора, анализа и хранения данных измерения. Применение циф-

ровых носителей в сравнении с обычными системами хранения данных обеспечивает ряд преимуществ: возможность улучшения и количественного анализа результатов измерений, следствием чего является повышение их информативности, удобство архивирования и доступа. Примером прибора этого типа может служить Измеритель метеопараметров микроклимата «Метеоскоп».

Внешний вид прибора приведен на рисунке 5.4.1.



Рисунок 5.4.1

Измеритель параметров микроклимата «Метеоскоп» принадлежит к поколению новых приборов, которые отличает мобильность и универсальность. Это портативный аппарат с возможностями стационарного. Прибор специализирован для проведения комплексного экологического мониторинга среды в жилых и производственных помещениях.

Области применения:

- Аттестация рабочих мест.
- Определение категории тяжести труда.
- Гигиенические исследования.
- Обследования систем вентиляции, отопления, кондиционирования.
- Изучение микроклимата в жилых и общественных зданиях.

Прибор прост в управлении за счет малого числа функциональных клавиш. Измеритель снабжен жидкокристаллическим дисплеем, встроенными часами и также стандартным портом RS-232. Применение прогрессивных технических решений, конструктивных элементов, в частности быстродействующего микроконтроллера, пленочной клавиатуры, обуславливает высокую надежность прибора.

Основные особенности прибора:

- простота управления и эксплуатации;
- надежность в работе и воспроизводимость информации;
- минимальная потребность в техническом обслуживании и текущем ремонте.

Датчики:

- Термисторный измеритель температуры.
- Термисторный анемометр.
- Электролитическая гигрометрическая ячейка.
- Пьезометрический датчик давления.

Датчики вмонтированы в сенсометрический щуп прибора. По желанию пользователя число датчиков может быть расширено включением дополнительных

- Высокоточный датчик температуры (с точностью регистрации 0,05°C).
- Шаровой термометр (сфера Вернона).
- Пирометр для измерения радиационной, поверхностной и т.п. температуры.

Для одновременного подключения более одного датчика требуется дополнительный коммутатор.

Интерфейс пользователя:

- Встроенный 4-х строчный (по 16 знаков в строке) ЖКИ – монитор.
- Удобная кнопочная панель управления
- Кабель соединения с персональной ЭВМ через стандартный порт RS-232.

Измерительные и расчетные функции:

- Измерение метеопараметров микроклимата
- Анализ результатов на соответствие требованиям санитарных норм

Комплектация: Базовая комплектация

• Щуп сенсометрический. Для преобразования измеряемых метеопараметров в электрический сигнал.

• Устройство измерительное Для управления работой и индикации измеряемой величины.

- Сумка укладочная Для транспортирования.
- Документация. Для ознакомления с работой прибора.

Дополнительно:

- Высокоточный датчик температуры (с точностью регистрации 0,05°C)
- Шаровой термометр (сфера Вернона)
- Коммутатор для подключения дополнительных датчиков.
- Штатив для размещения сенсометрического щупа в нужном положении для длительных измерений.

Физические характеристики:

- Масса, не более 0,6 кг:
- Габаритные размеры, не более, мм:
 - сенсометрического щупа 270x18
 - измерительного устройства 190x85x55

Прибор готов к работе через 30 секунд после включения.

"Метеоскоп" размещается в удобном для переноса кейсе, комплектуется всеми необходимыми аксессуарами.

Работа Измерителя в режиме автономных измерений

В режим автономных измерений «Метеоскоп» входит сразу после включения, если положителен результат автотестирования. Требуемый режим измерений устанавливается кнопочным управлением. С помощью кнопки «Выбор» пользователь выбирает из предлагаемых пунктов Меню нужный режим работы, вводит его (кнопкой «Ввод») в процессор прибора и кнопкой «С/С» (сокращение от Старт/Стоп) запускает нужные измерения.

Блок-схема Меню прибора, дающая представление о его функциональных возможностях, приведена на рисунке 5.4.2.

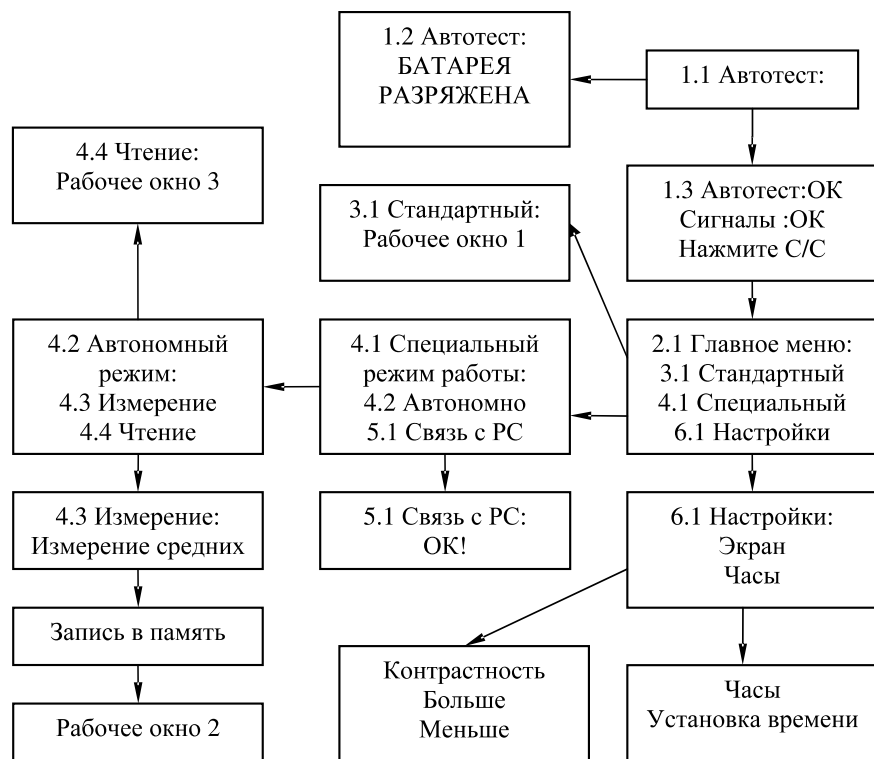


Рисунок 5.4.2

Стрелками показаны переходы по пунктам Меню при выборе того или иного режима работы прибора.

Программа «НТМ-Климат»

Достоинством прибора является то, что его можно соединять с персональным компьютером, что позволяет архивировать и просматривать результаты предыдущих измерений, повышая тем самым эффективность и объем обследований. Этой задаче служит система программ «НТМ-Климат», которая представляет собой программный пакет, работающий в среде WINDOWS для обеспечения сбора данных, их обработки и анализа согласно гигиеническим критериям оценки и классификации условий труда по вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса. Результаты выводятся в стандартизованном виде на экран монитора. Встроенный текстовый редактор позволяет создавать принятые у пользователя бланки и формы, писать и редактировать заключения. Возможна последующая распечатка документов.

С целью исключения трудностей в расчетах предлагается программное обеспечение исследований, позволяющее связать в единый комплекс Измеритель и

персональный компьютер. Программа позволяет проводить комплексный анализ показателей характеризующих микроклиматические условия в жилых и общественных зданиях, в производственных помещениях и на рабочих местах.

Детальная и высокоточная регистрация параметров микроклимата, одновременный ввод и анализ 4-х метеопараметров среды, является основой для автоматического формирования заключения с высокой вероятностью достоверности, что кардинально облегчает работу персонала.

Таким образом, потребителю предоставляется возможность собрать работоспособный комплекс из Измерителя метеопараметров микроклимата, системы съема, обработки и анализа данных на базе персонального компьютера, совместимого с IBM-PC, и формализации результатов в печатном виде, принятом пользователем.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Представленный обзор предложений на рынке измерительной техники позволяет обнаружить по крайней мере две противоположные тенденции в приборостроении. С одной стороны, Измерители все более и более специализируются под определенное измерение – появляются, например, термометры для измерения температуры овощей и фруктов, термометры для измерения температуры почвы и т.п. С другой стороны, конструируются и поступают на рынок агрегированные Измерители для нескольких метеопараметров, специализированные под определенную проблему, например, для комплексного экологического контроля микроклимата. Первый тип Измерителей (узкоспециализированные) предпочтительнее для производственных задач, когда приходится иметь дело с многократно повторяющимися однотипными измерениями одного и того же параметра. Для контролирующих органов, а также для исследовательских организаций очевидным преимуществом обладают Измерители второго типа – многофункциональные, с широкими возможностями интеграции в системы сбора, обработки и анализа данных. Наличие стандартного интерфейса с персональным компьютером представляет собой не просто дань моде, но необходимое дополнение к функциям прибора, избавляющее пользователя от рутинных расчетов и нудного оформления результатов.

ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 5

1. Попов М. М., Термометрия и калориметрия, 2 изд., М., 1954;
2. Сосновский А. Г., Столярова Н. И., Измерение температур, М., 1970.
3. Земанский М. Температуры очень низкие и очень высокие. М.: «Мир», 1968, – 151 с.
4. Бычковский Р.В. Контактные датчики температуры. М.: «Металлургия», 1978, – 238с.
5. Гаррисон Т.Р. Радиационная пирометрия. М.: «Мир», 1964, – 248с.
6. Гордов А. Н., Основы пирометрии, 2 изд., М., 1971.
7. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. -М.:Логос, 1999.- 480 с.
8. Порфирьев Л.Ф. Основы теории преобразования сигналов в оптико-электронных системах -СПб.:Машиностроение, 1989. -387 с.

9. Кононов В.И., Федоровский А.Д., Дубинский Г.П. Оптические системы построения изображений. -К.:Техн³ка, 1981. -134 с.
10. Поскачей А.А.. Оптико – электронные системы измерения температуры. – М. Энергия. 1989. – 208 с.
11. Егорова С.Д., Колесник В.А. Оптико- электронное цифровое преобразование изображений. -М.: Радио и связь, 1991. -208 с.
12. Стернзат М. С., Метеорологические приборы и наблюдения, Л., 1968
13. Матвеев Л. Т., Основы общей метеорологии, Л., 1965;
14. Усольцев В. А., Измерение влажности воздуха, Л., 1959;
15. Хромов С. П., Метеорология и климатология для географических факультетов, 2 изд., Л., 1968.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель настоящей книги была – на основе систематического изложения проблемы экологического мониторинга параметров микроклимата жилых и производственных помещений сформулировать практические рекомендации по выбору средств и методов проведения измерений, всестороннему анализу их результатов, как с точки зрения гигиенической содержательности, так и соответствия законодательным нормам, а также выработки обоснованного заключения по результатам конкретных исследований.

Проведенный в гл.1 обзор физиологических оснований гигиены – физиологии терморегуляции, дыхания, сердечно-сосудистой системы, мышечной активности – показывает, что поддержание гомеостаза представляет собой сложный процесс, включающий в себя действие многих механизмов, комплексно реагирующих на изменения во внешней среде. Относительная роль различных механизмов меняется в различных ситуациях, причем принципы их действия и «распределения ролей» не всегда ясны. Дополнительные проблемы связаны с адаптационными возможностями организма – не всегда понятно до каких пределов можно доводить внешнее воздействие и сколь длительным оно может быть без риска необратимых изменений в организме.

Несмотря на некоторую неопределенность в наших знаниях о работе систем поддержания параметров внутренней среды организма, процессы на границе организм – внешняя среда могут быть описаны и проанализированы в терминах термодинамики. Эти процессы хорошо изучены их аналитическое описание может быть использовано для численных расчетов. Такое, достаточно полное, описание процессов теплообмена дано в гл. 2. Помимо непосредственного приложения результатов расчетов, анализ этих процессов позволяет дать исчерпывающий перечень параметров, описывающих термодинамическое взаимодействие организма со внешней средой. Только в терминах этих параметров можно описывать такое взаимодействие и только с ними можно связывать теплоощущения человека. Такими параметрами являются температура кожи и скорость потовыделения.

В связи с отсутствием ясности в вопросе о работе механизмов поддержания гомеостаза, исследователям гигиенистам приходится полагаться на теплоощущения человека, т.е. использовать его как часть измерительного комплекса при изучении воздействия микроклиматических условий на здоровье и работоспособность. Здесь возникает задача детализации связи теплоощущений с термодинамическими параметрами среды, ее описанию посвящена гл. 3 книги. Несмотря на то, что это, пожалуй, наиболее изучаемая часть общей проблемы, здесь также остается немало нерешенных проблем, например, о способах усреднения температуры различных участков кожи для определения СВТК, относительной роли диффузного и профузного потоотделений, интенсивности легочной вентиляции до и после анаэробного порога и т.п. Ответы на эти вопросы постоянно уточняются, что проявляется в постоянном уточнении требований к оптимальным и приемлемым параметрам микроклимата.

В качестве примера можно привести следующее. Потери тепла при дыхании составляют только около 10 -20 % общих потерь тепла телом, поэтому влажность и температура вдыхаемого воздуха оказывают весьма небольшое влияние на теплоощущения человека. Вероятно, именно поэтому влажности почти не уделялось внимания – нормируемый диапазон ее возможных значений был достаточно широким. Новые ис-

следования показывают, что локальное влияние температуры и влажности на респираторный тракт и, таким образом, на воспринимаемое качество воздуха на порядок выше, чем ощущение тепла всем телом. Этот новый факт имеет серьезные практические последствия.

Уточнение требований к оптимальным и приемлемым параметрам микроклимата находит свое отражение и в совершенствовании нормативных требований к микроклимату в жилых, общественных и рабочих помещениях. Обзор документов в этой области приведен в гл. 4 книги. Здесь можно отметить происходившие в последние годы изменения в дифференциации самих помещений, в базовых определениях (напр. – холодного и теплого сезонов), в требованиях к влажности воздуха и т.п. Можно ожидать, что такие изменения и уточнения будут продолжаться. Более того, возможна смена самой концепции нормирования в этой области в связи с гармонизацией отечественных стандартов, правил и норм с зарубежными. В той же гл. 4 дано описание зарубежных подходов к проблеме комфортного микроклимата. Если такие подходы будут приняты, контроль норм не будет сводиться к сопоставлению требуемых и наблюдаемых параметров микроклимата, а будет включать в себя сложные расчеты, на основе комплекса входных параметров – как вводимых «вручную» (например – энергозатраты персонала, характер одежды и пр.), так и измеренных (метеопараметры).

В гл. 5 книги обсуждается проблема аппаратного обеспечения процедуры контроля климатических параметров. Отмечается, что несмотря на высокую степень насыщенности рынка различными приборами для измерения температуры воздуха, радиационной температуры, гигрометров, анемометров и пр., наблюдается недостаток приборов для комплексного контроля параметров микроклимата в помещениях. Преимущества интегрированных приборов очевидны – удобство пользования и возможность проведения одновременных измерений в одном месте. Как правило, современные приборы такого класса работают под управлением микроконтроллера и имеют внутреннюю энергонезависимую память, в которой можно хранить достаточно большое количество результатов измерений. Эта функция удобна для записи и оперативного просмотра больших массивов данных наблюдений за длительные промежутки времени.

Дальнейшим развитием класса «интеллектуальных» измерителей параметров микроклимата являются приборы, снабженные специальными портами для связи с персональными компьютерами. При наличии подходящего программного обеспечения такие измерители можно объединять в мониторинговые сети, охватывающие помещения и целые здания. Это выводит службу контроля на совершенно другой, более высокий, уровень. Еще одна возможность, открывающаяся при таком «симбиотическом» использовании Измерителей параметров микроклимата, заключается в возможности использования всей мощи персонального компьютера для анализа полученной информации. Здесь можно рассчитывать различные индексы, характеризующие микроклимат (PMV, PMV+), теплоощущения людей в нем (DR,PDD), проводить корреляционный анализ состояния персонала и микроклиматических условий, программно составлять и распечатывать экспертные оценки и заключения. В гл.5 описан пример такого прибора, выпускаемого в настоящее время отечественной промышленностью – измерителя параметров микроклимата «Метеоскоп».

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
§ 1. Исторический экскурс	3
§ 2. О содержании книги	7
Литература к Введению	11
Глава 1. Основные физиологические реакции организма человека на климатические воздействия	13
Вводные замечания	41
§ 1.1. Характеристики теплового состояния человека	17
§ 1.2. Теплопродукция и роль основных систем организма в теплообмене с окружающей средой	22
§ 1.3. Мышечная деятельность, изменения системных показателей кровообращения ..	26
§ 1.4. Физиология терморегуляции	39
1.4.1. Основные положения	39
1.4.2. Терморегуляция в охлаждающем микроклимате	40
1.4.3. Терморегуляция в нагревающем климате	48
§ 1.5. О влиянии других факторов микроклимата	55
§ 1.6. Адаптация человека к экстремальным условиям микроклимата	59
1.6.1. Гигиенические аспекты адаптации	59
1.6.2. Адаптация к холоду	62
1.6.3. Адаптация в нагревающем микроклимате	67
§ 1.7. Профессиональные заболевания, обусловленные воздействием микроклимата ..	71
§ 1.8. Основные выводы	72
Литература к главе 1	75
Глава 2. Теплообмен человека с окружающей средой	41
Вводные замечания	41
§ 2.1. Термодинамические параметры микроклимата (основные понятия и определения)	78
2.1.1. Температура	79
2.1.2. Теплота	81
2.1.3. Другие понятия	82
2.1.4. Излучение	83
2.1.5. Агрегатное превращение	83
2.1.6. Влажность воздуха	84
§ 2.2. Производство метаболического тепла	87
2.2.1. Теплопроизводство	87
2.2.2. Энерговыделение и легочный воздухообмен	88
2.2.3. Основной параметр	89
§ 2.3. Каналы теплообмена человека с окружающей средой	90
2.3.1. Кондуктивный теплообмен кожа-воздух	90
2.3.2. Теплообмен излучением	93
2.3.3. Теплообмен при выделении и испарении пота	94
2.3.4. Легочный теплообмен	96
§ 2.4. Иллюстративная модель комфортного теплообмена	99

2.4.1.Простейшая модель теплообмена. Педантичный подход.	100
2.4.2.Ранние подходы.	102
Литература к главе 2.	104
Глава 3. Теплоощущения человека	64
§ 3.1. Принципы объективизации теплоощущений.	107
3.1.1.Индекс PMV+.	107
3.1.2.Индекс PPD.	111
§ 3.2. Восприятие охлаждающей среды.	112
§ 3.3. Теплопотери в нагревающей среде.	115
3.3.1. Включение системы потоотделения.	115
3.3.2. Риск перегревания тела.	118
3.3.3. Риск простуды.	120
§ 3.4. Конструктивный подход к проблеме приспособления к микроклимату	121
Литература к главе 3.	126
Глава 4. Законодательная база	80
Вводные замечания	80
§ 4.1 Принципы построения нормативных документов	129
§ 4.2 Основные термины и определения в области нормирования показателей микроклимата	134
4.2.1. Характеристики теплового состояния человека	134
4.2.2. Характеристики климата	135
4.2.3. Климатические зоны	136
4.2.4. Сезоны (периоды года)	137
4.2.5. Тяжесть труда	138
4.2.6. Виды помещений	139
§ 4.3. Нормы, стандарты, правила	139
4.3.1. Оптимальные и допустимые условия	139
4.3.2. Регламентация трудовой активности	148
4.3.3. Особенности подхода к нормированию микроклимата в детских учреждениях	152
§ 4.4. Методические вопросы контроля (производственные условия)	155
4.4.1. Планирование измерений	155
4.4.2. Проведение измерений	157
4.4.3. Оформление результатов	159
§ 4.5. Методические вопросы контроля (помещения в жилых и общественных зданиях)	160
§ 4.6. Западные стандарты	165
Литература к главе 4	173
Глава 5. Аппаратурное обеспечение контроля параметров микроклимата	103
Вводные замечания	103
§ 5.1. Принципы работы сенсоров приборов для измерения метеопараметров.....	175
5.1.1. Измерение температуры	175
5.1.2. Пирометрия	177
5.1.3. Измерение влажности воздуха.	179

5.1.4. Измерение скорости движения воздуха.	182
§ 5.2. Общие характеристики аппаратуры мониторинга микроклимата.	185
5.2.1.Измерение параметров сигналов без анализа их характеристик	186
5.2.2.Процессорные Измерители.	187
5.2.3.Измерение параметров сигналов с анализом их статистических характеристик	188
5.2.4. Система интерфейса для сопряжения устройств.	188
5.2.5.Самотестирование и автокалибровка.	189
§ 5.3. Частные особенности аппаратуры мониторинга метеопараметров.	190
5.3.1.Термометры.	190
5.3.2.Пирометры.	194
5.3.3.Гигрометры.	198
5.3.4.Анемометры.	201
§ 5.4. Приборы комплексного контроля.	205
Литература к главе 5	210
Заключение	137

