

Радиационно-эффективные температуры

Из отдела экспериментальной гигиены УИЭМ

Потеря тепла человеческим организмом в воздухе осуществляется проведением, лучеиспусканием и испарением.

Передача теплоты проведением происходит путем внутренней теплопроводности прилегающего воздушного слоя к поверхности тела в направлении, перпендикулярном к этой поверхности¹, т. е. путем нагревания того воздушного слоя, который непосредственно прилегает к поверхности тела. Нагретый воздух при этом становится более легким, чем окружающий более холодный, вследствие чего поднимается вверх, а на его место притекает более холодный воздух. Около поверхности живого человеческого тела, находящегося в воздухе с более низкой температурой, чем тело, образуются токи воздуха, получившие название конвекционных. Количество тепла Q , уносимое с поверхности человеческого тела конвекционными воздушными токами, зависит от разности температур поверхности тела (t) и воздуха (T), площади тела (F) и может быть выражено формулой:

$$Q_k = \alpha_k F (t - T),$$

где k — коэффициент пропорциональности. Температуру воздуха T назовем конвекционной температурой, а t — средней температурой поверхности тела и одежды.

Тепловое излучение поверхности F человеческого тела по закону Стефана и Больцмана происходит в соответствии с формулой

$$Q_u = C \cdot F \cdot (T_1^4 - T_0^4),$$

где Q_u — количество тепла, теряемое излучением, C — коэффициент, T_1 — абсолютная температура поверхности тела, T_0 — абсолютная температура окружающей среды (ограждений, предметов и воздуха). Упрощая эту формулу, мы можем сказать, что в сущности тепловое излучение человеческого тела в воздухе в закрытых помещениях зависит от разности температур поверхности одежды и окружающих стен и обстановки, а на открытых местах (например, на улицах или на пляже) — от средней температуры поверхности тех предметов, которые составляют окружающую среду: домов, почвы, скал, моря и пр., последнюю температуру, представленную в градусах Цельсия, мы дальше будем называть радиационной.

Наибольшая величина теплопотери человеческим телом приходится на теплоизлучение; по данным Рубнера² при обычных условиях человек теряет тепла: излучением 4%, проведением 3%, а испарением только 2%. В закрытых помещениях при обыкновенных температурах, как показывают многочисленные наблюдения, влажность воздуха играет незначительную роль в тепловом самочувствии человека и, следовательно, в условиях охлаждения человеческого тела. Гораздо большее здесь значение имеют остальные два фактора. Из изложенного можно заключить, что тепловое самочувствие человека в спокойном воздухе в сущности зависит от следующих трех факторов: 1) температуры поверхности тела или вернее одежды, 2) конвекционной и 3) радиационной температуры (см. диаграмму 1).

По оси абсцисс диаграммы 1 отложены величины конвекционной, а по оси ординат радиационной температуры; прямая, проведенная из левого угла диаграммы и делящая последний пополам, изображает геометрическое место точек,

¹ В. Д. Мачинский.

² М. Rubner. Die Wärme. Handbuch der Hygiene. 1911.

соответствующих тем условиям тела в воздухе, когда величины радиационной и конвекционных температур между собой равны. Действительно, каждая точка этой биссектрисы является местом пересечения двух перпендикуляров, из которых один восстановлен на линии абсцисс, а другой — ординат на разных расстояниях от нулевой точки. Например, точка *A* на биссектрисе является пересечением двух перпендикуляров, восстановленных на точках, соответствующих 15° конвекционной температуры и 15° радиационной и выражает термические условия воздуха в помещении, в котором конвекционная и радиационная температуры равны каждой порошке по 15° . Такие термические условия в помещениях, когда конвекционная и радиационная температуры имеют одинаковые величины, английские авторы (Dufton и др.) называют эффективными температурами.

Следовательно, каждая точка биссектрисы изображает отдельные величины английских эффективных температур, причем значение каждой точки определяются перпендикулярами, опущенными из данных точек на оси абсцисс и ординат. По английским

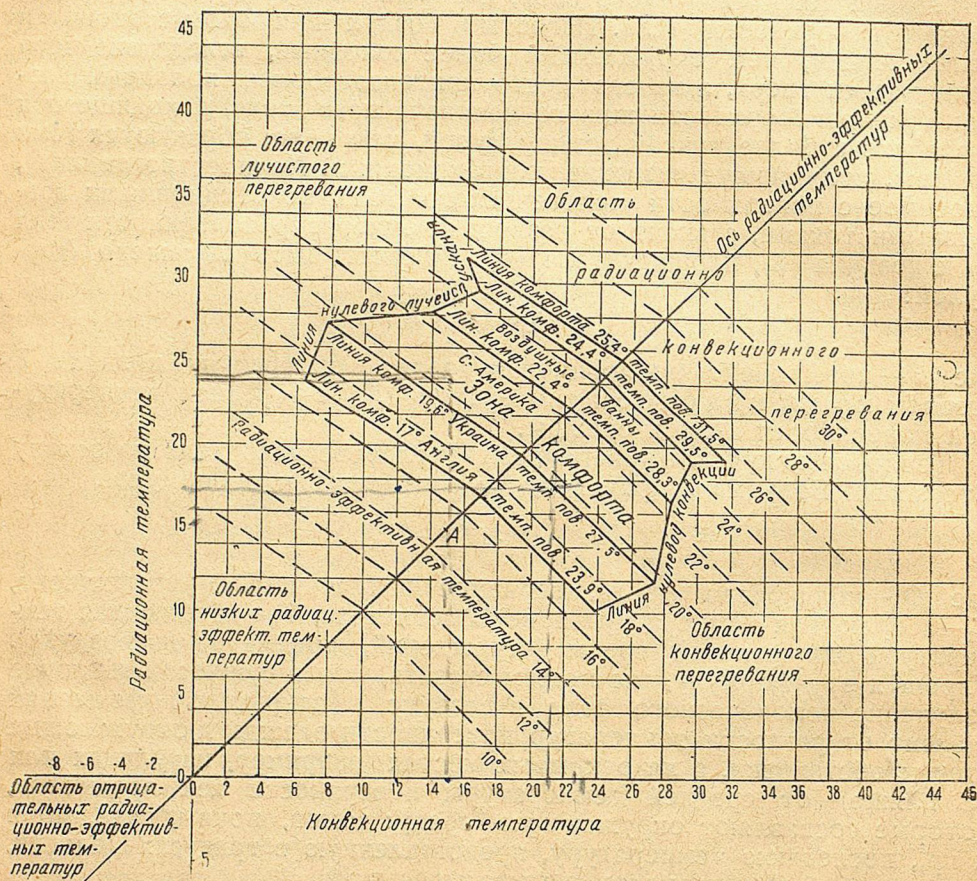


Рис. 1. Карта радиационно-эффективных температур

данным, эффективной температурой комфорта, т. е. температурными условиями в закрытых помещениях, при которых наблюдается у человека нормальное тепловое самочувствие, является $17,0^\circ$, соответствующая температура у американцев — $22,4^\circ$. Нами найдено, что наиболее благоприятными эффективными температурами во время воздушных и солнечных ванн являются соответственно $24,4$ и $25,4^\circ$. Приведенные значения английских эффективных температур после сказанного легко отложить на указанной биссектрисе. Все эти величины эффективных температур размещены на биссектрисе диаграммы 1.

Значения эффективных температур, соответствующие нормальному теплоизлучению у человека, различны в разных странах, а также в зависимости от условий, в которых они определяются (воздушные или солнечные ванны). Причина этого явления лежит в том, что

средняя температура поверхности одежды и тела во всех случаях различна: у англичан средняя поверхность одежды равна $23,9^{\circ}$, у американцев $28,3^{\circ}$, у нас (Харьков) $27,5^{\circ}$; во время приема воздушных ванн на пляже нами совместно с д-ром Щодро обнаружена средняя температура поверхности обнаженного тела равной $29,5^{\circ}$, а во время воздушных солнечных ванн $31,5^{\circ}$. Приняв во внимание приведенные формулы об охлаждении тела в зависимости от конвекции и лучеиспускания, мы должны согласиться с тем, что эффективные температуры, при которых наблюдаются одни и те же теплоощущения, должны иметь разные величины, если различны средние температуры поверхности одежды и тела, при которых происходит охлаждение последнего.

Средние температуры поверхности одежды и тела дают возможность найти колебания радиационных и конвекционных температур в пределах определенных эффективных температур. Возьмем английскую эффективную температуру $17,0^{\circ}$, при которой средний англичанин ощущает нормальное тепловое ощущение. Это значение $ЭТ$ откладывается на биссектрисе в месте пересечения перпендикуляров, восстановленных из значений $17,0^{\circ}$ радиационной и $17,0^{\circ}$ конвекционной температур. При этой $ЭТ$ средний англичанин имеет среднюю поверхностную температуру 24° . Последней температурой определяются колебания радиационной и конвекционной температур в пределах $17,0^{\circ} ЭТ$. В самом деле, значение $17,0^{\circ} ЭТ$ не изменяется, если радиационная температура, например, увеличивается и соответственно уменьшается конвекционная температура. Например, при повышении радиационной температуры до 21° конвекционная температура должна быть понижена до 1° , при 24° радиационной конвекционная температура должна быть уменьшена до $6,5^{\circ}$. При более высокой радиационной температуре (свыше 24°) охлаждение тела среднего англичанина может происходить только при условии дальнейшего понижения конвекционного тепла. При величинах радиационной температуры свыше 24° теплоизлучение указанного тела исключается, так как радиационная температура приобретает более высокие значения, чем температура поверхности тела. Те же рассуждения имеют такую же силу в отношении конвекционной температуры.

При повышении конвекционной температуры эффективная температура $17,0^{\circ}$ сохраняет свое значение, если только значение конвекционной температуры не превышает 24° . До этого предела всякое повышение конвекционной температуры в пределах $17,0^{\circ} ЭТ$ должно компенсироваться соответственным уменьшением радиационной температуры, например, при повышении конвекционной температуры до $19,5^{\circ}$ радиационную температуру необходимо понизить до $14,7^{\circ}$; если конвекционная температура повышается до 21 и 24° , то соответственно радиационная температура должна быть понижена до 13 и 10° ; если конвекционная температура превышает 24° , то исключается охлаждение тела посредством конвекции; сохранение нормального теплового ощущения здесь возможно только при дальнейшем понижении радиационной температуры.

Из вышеизложенного видно, что $17,0^{\circ} ЭТ$ можно выразить группой сопряженных величин радиационной и конвекционной температур и что все эти комбинации укладываются в определенную линию. Поэтому эту линию можно назвать линией английских эффективных температур, в отличие от линии американских эффективных температур, или линией радиационно-эффективных температур. Английские авторы называют эффективными температурами лишь те условия

радиационной и конвекционной температур, которые укладываются на оси радиационно-эффективных температур; остальную группу величин радиационной и конвекционной температур, которые образуют определенные линии эффективных температур, обозначают эквивалентными температурами.

Подобные рассуждения применимы также при обсуждении остальных линий эффективных температур, нанесенных на диаграмме: линии комфорта $22,5^{\circ}$ $ЭТ$ для американцев при средней температуре поверхности тела $28,8^{\circ}$ и двух линий—эффективных температур, при которых желательно проводить воздушные и солнечные ванны на морском берегу; линия $24,4^{\circ}$ найдена при средней поверхности тела $29,5^{\circ}$, а линия $25,4^{\circ}$ обнаружена при средней поверхностной температуре тела $31,5^{\circ}$.

Приведенная здесь диаграмма с линиями английских эффективных температур обнаруживает ряд интересных особенностей конвекции и радиации в деле оценки отдельных климатов и потому заслуживает детального описания.

Биссектриса рис. 1 разделяет линии эффективных температур на две половины, которые по своему характеру резко различаются одна от другой. Поэтому линию ОК мы называем осью радиационно-эффективных температур.

Левая и верхняя половины зоны комфорта радиационно-эффективных температур характеризуются преобладанием значения конвекционных температур в охлаждении человеческого тела; радиационные температуры по мере повышения их абсолютных величин играют при этом как фактор охлаждения все меньшую роль. В этой половине человек подвергается усиленному воздействию лучистой теплоты низких конвекционных температур.

Ввиду того, что в верхней половине зоны комфорта человек подвергается главным образом воздействию радиационного тепла, мы эту половину называем радиационной половиной зоны комфорта. Это отличает верхнюю половину от нижней, в которой человек главным образом подвергается воздействию конвекционного тепла. На этом основании нижнюю половину можно назвать конвекционной половиной зоны комфорта. Верхней границей радиационной половины служит кривая, которая отделяет эту область от другой, выше лежащей области, в которой радиационные температуры выше поверхностной температуры людей. Эту область мы называем областью лучистого перегрева, так как при условиях этой области человек больше получает лучистой тепловой энергии, чем излучает. Область лучистого перегрева теплоизлучения отделяется от радиационной половины посредством указанной кривой, которая изображает такие условия радиационных и конвекционных температур, когда прекращается охлаждение тела теплоизлучением. Поэтому эту кривую можно назвать кривой нулевого охлаждения теплоизлучением.

Соответственно этому зона комфорта внизу и справа ограничивается кривой, которая может быть названа кривой нулевого охлаждения конвекцией. Эта кривая соединяет те точки конвекционно-радиационных эффективных температур, где прекращается охлаждение тела конвекцией. Ниже кривой нулевой конвекции лежит область конвекционного перегрева. В этой области конвекционная температура среды выше поверхностной температуры человека, охлаждение тела человека при этих условиях конвекцией исключается.

Из всех описанных областей радиационных эффективных температур наиболее отвечающей требованиям человеческого здоровья и производительности труда человека надо признать радиационную половину зоны комфорта. При условиях этой области удаление тепла из человеческого тела происходит главным образом конвекцией и, кроме того, человек подвергается значительному количеству положительной радиации. Человек в этой области получает ощущение тепла и свежести. Подобным условиям человек обычно подвергается в природе, например, в умеренном климате при действии солнечной радиации. Ярким примером действия этой области является весенняя и зимняя погода в солнечные дни, климат горных высот летом в ясную погоду (в утренние часы). В это время человек подвергается умеренному воздействию солнечных лучей и относительно низкой температуры окружающего воздуха. В закрытых помещениях

подобные условия создаются радиационным отоплением, которое поддерживает в помещениях умеренно высокую радиационную температуру и умеренно низкую конвекционную. В таких помещениях человек имеет ощущение не только приятного тепла, но также бодрящей свежести. Наблюдение показывает, что люди при возможности выбора предпочитают радиационное отопление конвекционному. Нужно предполагать, что в промышленности для повышения производительности труда целесообразно применение радиационного отопления.

Область лучистого перегрева встречается как в природе, так и в искусственной обстановке. Эта область характеризуется избытком лучистого тепла при низких температурах воздуха. Примерами этой области могут служить следующие случаи: 1) восхождение на снежные горные вершины при ярко светящем солнце происходит обычно при условиях низкой конвекционной температуры и больших значениях солнечной инсоляции, которые создают высокие величины радиационной температуры; 2) прогулка по горному леднику в ясный летний день создает подобные же условия для человека; 3) повышенному воздействию лучистой теплоты при низких температурах воздуха могут подвергаться также пассажиры аэропланов, дирижаблей и аэропланов во время высотных полетов; 4) кочегары во время своей работы (на пароходах, паровозах и на заводах) обычно подвергаются воздействию больших величин лучистой теплоты и одновременно могут испытывать воздействие относительно низких температур воздуха, например, стоя под вентиляционной трубой, проводящей холодный воздух в кочегарку (как это делается на пароходах).

Конвекционная половина зоны комфорта встречается обычно в тех помещениях, где отопление производится конвекционными способами. Эта область включает все термические условия, в которых мы обычно живем. В наших помещениях, особенно зимой, преобладает конвекционная температура и слабо выражена радиационная. При этих условиях удаление тепла из тела происходит главным образом лучеиспусканием ввиду значительного превышения поверхностной температуры тела над радиационной и относительно высокой конвекционной температуры. Условия этой области быстро создают ощущение тепла и духоты и потому снижают производительность труда. Ввиду этого желателен с гигиенической и промышленной точки зрения переход на те системы отопления, которые дают много лучистого тепла и потому дают возможность работать при пониженных значениях конвекционного тепла.

Область конвекционного перегрева, лежащая ниже кривой нулевой конвекции, характеризуется высокими значениями конвекционными и низкими радиационными температурами. Примером таких условий может служить быстрое нагревание воздуха, например, посредством паровой центральной системы помещений, которые долгое время стояли без отопления. В таких случаях мы можем наблюдать высокую температуру воздуха и холодные стены; пребывание в таких помещениях вызывает неприятное ощущение сначала зябкости вследствие большой отдачи тепла телом теплоизлучением, а затем духоты вследствие высокой конвекционной температуры. Такие условия встречаются в поездах железной дороги, театрах и пр.

Область конвекционного перегрева переходит постепенно в область радиационно-конвекционного перегрева, характеризующуюся высокими конвекционными и сначала умеренными, а затем высокими радиационными температурами. Термические условия этой области могут встречаться в жарком тропическом климате, климате тропических пустынь и пр.

Область низких радиационно-эффективных температур характеризуется относительно низкими значениями радиационных и конвекционных температур. Эта область примыкает справа и сверху с зоной комфорта, а слева и внизу с областью отрицательных величин радиационных и конвекционных температур. Сверху эта область постепенно переходит при повышении радиационных температур в область лучистого перегрева, а справа — в область конвекционного перегрева. Идя по оси радиационно-эффективных температур сверху и справа вниз и налево, мы постепенно пройдем от высоких к низким значениям радиационно-эффективных температур, соответственно этому понижается средняя поверхностная температура у человека. При температурах поверхности тела выше 29° человек, живущий в умеренном климате, может без вреда для здоровья подвергаться влиянию климата в обнаженном состоянии, как это имеет место во время воздушных и воздушно-солнечных ванн. При дальнейшем понижении поверхностной температуры человек защищается от излишнего охлаждения одеждой: чем ниже радиационно-эффективная температура, тем ниже поверхностная температура человеческого тела и тем более толстый слой одежды надевает человек.

Можно сказать, что одежда защищает человека от большой и излишней потери тепла при воздействии низких температур путем понижения поверхностной температуры человеческого тела. Понижение последней способствует уменьшению теплопотерь конвекцией и излучением.

Последняя область радиационно-эффективных температур содержит отрицательные величины радиационных и конвекционных температур. Эта область характерна для Арктики и холодных тел умеренных поясов.

Весьма важной особенностью радиационно-эффективных температур является то, что они относительно легко устанавливаются. Это дает возможность определить значения радиационно-эффективных температур отдельно для всех микроклиматов и определенных групп людей. В литературе опубликованы значения этих температур, применимых для англичан и американцев. Подобные значения радиационно-эффективных температур могут быть получены у нас во всех необходимых случаях. Нами были найдены значения радиационно-эффективных температур для людей, спокойно сидящих в закрытых помещениях, а затем для лиц, принимающих воздушные и воздушно-солнечные ванны, как это показано на диаграмме 1. Теперь нами производятся работы для определения радиационно-эффективных температур, применимых для лиц разного возраста и в различное время года, а также для курортов.

Применяемая при этом методика состоит в следующем.

Для определения шкалы радиационно-эффективных температур необходимо предварительно нахождение следующих данных:

- 1) определение средней температуры поверхности одежды или тела у людей, для которых назначается определяемая шкала радиационно-эффективных температур;
- 2) определение средней теплопродукции при исследуемых условиях воздуха, климата и физическом состоянии человека (покой, работа);
- 3) нахождение зависимости в виде кривой между величинами теплопотерь эвизитеоскопа и радиационно-эффективными температурами при найденной средней величине поверхностной температуры у данной группы людей.

Поверхностная температура одежды определяется у группы людей, находящихся в определенных условиях воздуха и в требуемом физическом состоянии (покой или работы), посредством термоэлектрического термометра. Обычно каждое измерение поверхностной температуры состоит приблизительно из 20 отдельных определений, производимых на различных частях тела (голова, туловище и конечности). Из этих определений затем вычисляют среднюю для всего тела. Подобные измерения у каждого человека желательно производить не менее 10 дней в сезон. Группа лиц, служащая для опытов измерения поверхностной температуры и для определения величин теплообмена, должна состоять не менее чем из 10 человек. Поверхностной температурой данной группы лиц считают среднюю величину из полученных у указанной группы людей за период не менее 10 дней за сезон. Желательно подобные измерения производить в течение каждого сезона на протяжении года.

Одновременно с измерениями кожной температуры измеряют величины теплообмена посредством газообмена. Эти измерения производятся при обычных условиях сейчас же после измерения у них кожной температуры. Количество определений теплообмена должно быть также не менее 10 у каждого подопытного субъекта.

Получив указанные данные, приступают к определению кривой величины охлаждения эвизитеоскопа¹ в зависимости от величин эффективных температур. Температуру поверхности эвизитеоскопа устанавливают на величину найденной температуры поверхности тела у исследуемой группы людей. После этого эвизитеоскоп помещают в микроклиматическую камеру, в которой устанавливают определенные значения радиационно-эффективных температур. Полученные результаты теплопотерь эвизитеоскопа изображают в виде кривой, как это сделано на диаграмме 2.

Помещаемая диаграмма 2 содержит величины охлаждения эвизитеоскопа в зависимости от различных величин радиационно-эффективных температур при следующих температурах поверхности этого прибора: 23,9° (средняя температура поверхности одежды англичан в закрытых помещениях по Duffon), 28,3° (тоже у американцев по данным Aldrich), 27,5° (тоже в Харькове¹), 29,5° (средняя температура обнаженной кожи у людей во время воздушных ванн на берегу моря в Евпатории) и 31,5° (тоже во время солнечных ванн). Эта карта служит для определения отдельных значений радиационно-эффективных температур по данным охлаждения эвизитеоскопа. Для определения величины эффективной температуры комфорта на полученной кривой отыскивают значение эффективной температуры, соответствующей величине теплообмена, найденное у опытных лиц при стандартных комфортных условиях.

¹ Эвизитеоскоп предложен Duffon для измерения величин охлаждения в воздухе в зависимости от конвекционных и радиационных температур среды. Такой прибор в настоящее время построен и изучается в Отделе экспериментальной гигиены УИЭМ.

На диаграмме 2 видно, что у англичан температурой комфорта можно считать 17° (соответствующую охлаждению в 48 калорий $1 \text{ м}^2 \cdot \text{час}$), а у американцев $22,4^{\circ}$ (что соответствует теплообмену 42 калорий $1 \text{ м}^2 \cdot \text{час}$), у нас (Харьков) — $19,6^{\circ}$.

Определив величины теплопотерь эвiateоскопа в зависимости от стандартных эффективных температур в виде диаграммы, легко определяют значение отдельных радиационно-эффективных температур в любых условиях. Для этого помещают эвiateоскоп в исследуемое помещение для определения величины охлаждения, а затем с помощью диаграммы определяют отдельные значения эффективных температур. Например, необходимо определить в помещении значение радиационно-эффективных температур. Для этого в этом помещении устанавливают эвiateоскоп и находят величину теплопотери, например, равную 60 калориям ($1 \text{ м}^2 \cdot \text{час}$). Требуется определить значение радиационно-эффективной температуры для англичан и американцев. Восстановив перпендикуляр из точки абсциссы 60 до пересечения с английской и американской линиями, а затем из то-

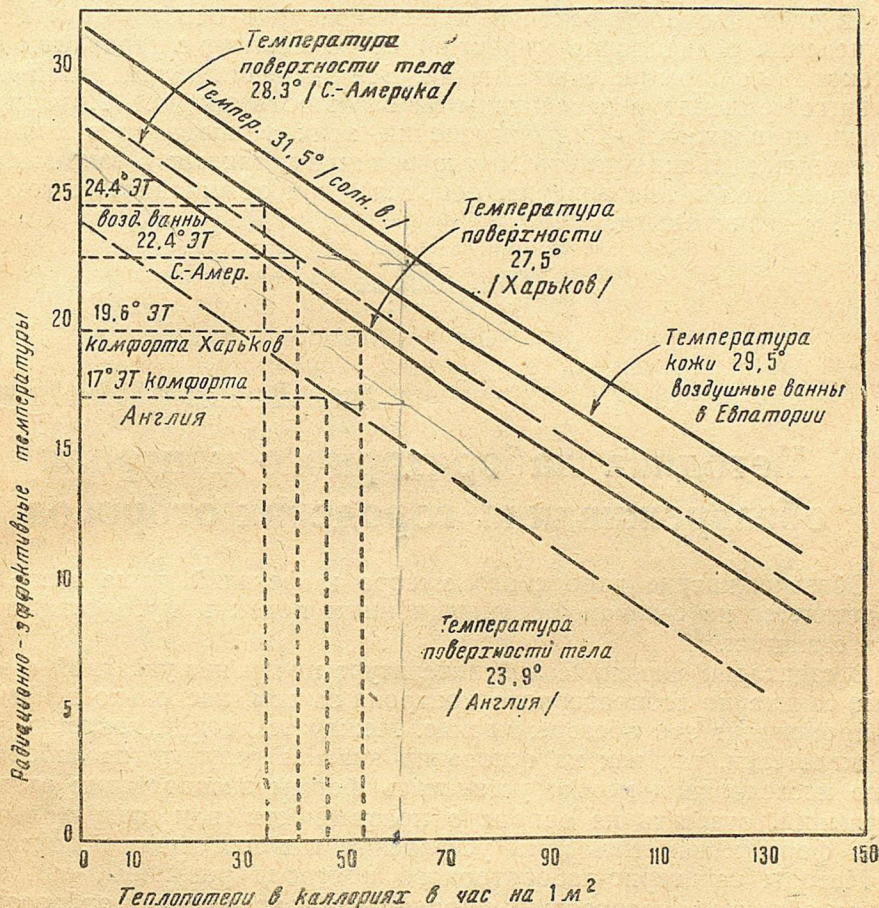


Рис. 2. Карта для определения радиационно-эффективных температур по данным охлаждения эвiateоскопа

чек пересечения проведем горизонтально прямые до пересечения с ординатой, на которой находим для англичан $15,4^{\circ}$, а для американцев 20° радиационно-эффективной температуры. Обе найденные температуры лежат ниже температур комфорта для обоих народов указанных групп населения.

Эвiateоскоп можно применять для определения отдельных значений радиационно-эффективных температур как в покойном, так и в подвижном воздухе. В спокойном воздухе, кроме того, значение радиационно-эффективных температур может быть найдено с помощью предварительного определения конвекционной и радиационной температур. Например, найдено в помещении 17° конвекционной (посредством термометра) и $21,3^{\circ}$ радиационной температуры (посредством посеребренного кататермометра). Определим значение радиационно-эффективной температуры. Пользуемся диаграммой рис. 2.

Пересечение перпендикуляров, восстановленных из абсциссы (точка 17°) и ординаты (точка $21,3^{\circ}$), дает точку, которая лежит на линии $19,6^{\circ}$ радиационно-эффективной температуры.

Преимуществами радиационно-конвекционных температур по сравнению с американскими эффективными температурами являются: 1) учет действия на человека тепла радиации, 2) относительная простота их получения, 3) возможность приспособления их к местному микроклимату и особенностям населения.

К недостаткам относятся—отсутствие учета воздействия на человека влажности воздуха и сложность эвпатеоскопа, необходимого для определения значений радиационно-эффективных температур. Однако эти недостатки можно устранить путем внесения поправок в значения радиационно-эффективных температур на влажность. Подобные поправки, однако, потребуются вносить только при применении радиационно-эффективных температур в особых случаях для применения радиационно-эффективных температур в курортном деле, в некоторых промышленных цехах. Все значения радиационно-эффективных температур рассчитаны на влажность воздуха. Поэтому поправки на влажность для применения этих температур в закрытых помещениях должны иметь малую величину, так как в закрытых помещениях колебания воздуха, особенно при обыкновенных температурах, незначительны.

Проф. Р. А. БАБАЯНЦ (Ленинград)

Методика лабораторного контроля обезвреживания городских отходов

Обезвреживание городского мусора и фекалий чаще всего осуществляется на свалках, ассенизационных полях и мусоросжигательных станциях.

В санитарно-гигиенической литературе почти нет указаний о методике санитарно-лабораторного контроля за тем, насколько эффективно происходит это обезвреживание. Между тем такой контроль весьма желателен, так как на основании анализа результатов лабораторного исследования можно установить формы эксплуатации этих сооружений, ответить на вопрос о правильности или неправильности этих форм и наметить пути устранения тех или иных недостатков.

Методы санитарно-лабораторного контроля различны, они зависят от объекта и направления процессов обезвреживания отходов.

Далее мы изложим эти методы по отдельным объектам.

Под свалками подразумевают земельные участки, предназначенные для сваливания на них городских отходов: домового мусора, уличных сметок, рыночных и всякого рода животных, рыбных и прочих отходов.

Лабораторное исследование проб свалочного грунта производится или при исследовательской работе с целью изучения процессов и сроков минерализации отходов, или при решении вопросов о возможности использования участка, или, наконец, для выяснения влияния свалки на другие участки или грунтовые воды.

Перед выемкой проб для лабораторного исследования свалочное место обследуется. По каким-нибудь документальным данным устанавливается начало и конец функционирования свалки; если же докумен-