

3. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Мордухович І.І., Гольченко М.Ф. СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ «ГРІЮЧА ПІДЛОГА»

Запропоновано нову конструкцію системи електроопалення типу "гріюча підлога" на основі саморегульованого кабелю, що дозволяє усунути конструктивні недоліки звичайної системи акумуляційного електроопалення.

Ключові слова: система опалення, «гріюча підлога», опалювальні приміщення.

Morduhovich I.I., Golchenko M.F. THE SYSTEM OF THE HEAT-INSULATED FLOOR

The system of the "heat-insulated" floor is known during enough long time, but a wide distribution have started to receive presently, especially in the countries of the western Europe. In Ukraine this system have started to be applied since ninetieth years of last century. The system of the "heat-insulated" floor functions through the thermal energy transferred by heat-carrier, located in the pipes inside floor structures. Sometimes it can be energy of the electrical power, arriving in an electric cable, carrying out function of the heating element.

Advantages of the "heat-insulated" floor system:

- absence of any heating devices;
- provides optimum conditions for the person by optimum distribution of the air indoors: the warmest air settles down in the bottom of a premise, at the floor level;
- saves 5-20% of the consumed electric power irrespective of an applied source of heat;
- an aesthetics and functionality;
- durability;
- the-lowered requirement fir ventilation;
- high level of safety.

This system provides hygienically favorable climate indoors where it is established.

Electronic temperature regulators provide timely and optimum control of the cable systems.

Advantages of the "heat-insulated" floor systems with the water heat-carrier in the polymeric pipes:

- a fifty years' guarantee of operation of pipelines without replacement and repair;
- reduction of labour expenses for installation of polymeric system in comparison with the steel pipes not less, than on 30%;
- rather low and stable price of materials;
- essential reduction of vertical distributive pipes in apartment.

At the territory of the Sumy region the given kind of heating has began the application still in the eighties the last century. It was the device of heating of a floor in the group rooms of preschool institutions (a children's day nursery) and children's homes also. In many preschool institutions these systems work till now.

It is necessary to pay attention to application of the given kin of heating on objects of residential buildings, welfare institutions (preschool institutions, schools, medical institutions) where there are devices of the calculation of the electric power, realising the calculation for two or three zones of the time.

The key words: heat carrier, heat energy, heating element, "heat-insulated" floor, thermoregulator.

Дата надходження в редакцію: 15.10.14 р.

Рецензент: д.т.н., професор Філатов Л.Г.

УДК 697.7

ЛУЧИСТОЕ ОТОПЛЕНИЕ

И. И. Мордухович

Н. Ф. Гольченко

В. Б. Ткаченко

Описаны разработанные усовершенствованные трубчатые инфракрасные нагреватели и методика расчета систем отопления с их использованием.

Ключевые слова: энергосбережение, трубчатые инфракрасные нагреватели, интенсивность облучения, рабочая зона.

Введение и постановка проблемы. На отопление и горячее водоснабжение ежегодно расходуется не менее 200 млн. т. условного топлива. Затраты на отопление жилых зданий составляют 27 - 30 % от общего потребления тепловой энергии, а затраты на отопление 1 м² об-

щей площади жилого здания превышают аналогичный показатель в странах, находящихся в сопоставимых с Россией климатических условиях, в 2,5 - 3 раза.

Это связано с тем, что большая часть существующих зданий имеет невысокие теплозащит-

ные свойства ограждающих конструкций. Трансмиссионные теплопотери через ограждающие конструкции составляют порядка 19 - 30 %, а расход тепла на инфильтрацию и вентиляцию достигает 35 % от общего годового потребления энергии. Таким образом, только за счёт снижения теплопотерь энергопотребление в зданиях можно сократить почти на 50 %.

В Украине и за рубежом исследованиями лучшего отопления занимаются уже продолжительное время. Большая часть исследований касается систем отопления с высокотемпературными «светлыми» газовыми нагревателями и только ряд авторов [1, 2, 3, 4, 5, 6] посвятили свои научные труды газовым трубчатым инфракрасным нагревателям.

Некоторые авторы при расчетах систем лучистого отопления интенсивность облучения в отапливаемом пространстве принимают как среднюю величину по площади помещения и сравнивают ее с нормативной. При расчетах систем отопления с трубчатыми нагревателями такой подход мало эффективен, так как интенсивность облучения в пределах рабочей зоны при их работе изменяется весьма существенно. Ряд разработок и методик необходимо дальше уточнять, развивать и совершенствовать применительно к условиям отопления производственных помещений больших размеров.

Поэтому решение задач по повышению энергосбережения крайне важно на сегодняшний день. Более рациональному использованию энергии способствуют меры по повышению теплозащиты зданий. На решение этого вопроса и были направлены постановления, принятые в последние годы. Так постановлением № 18-81 от 11.08.95 Минстроя РФ введены изменения к СНиП II-3-79* "Строительная теплотехника", где в значительной степени увеличивались требуемые сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий (в 2 -6 раз). Учитывая сложность поставленной задачи в экономическом и техническом плане, допускается двухэтапное введение повышенных требований к теплопередаче при проектировании и строительстве объектов.

Целью работы является снижение энергозатрат на обеспечение теплового режима производственных помещений.

Основная часть. Построенные в прошлом столетии объекты отличаются низким качеством ограждающих конструкций по их теплотехническим показателям; высокими общими теплопотерями и большими расходами тепла на их отопление и вентиляцию; теплоснабжением от централизованных источников; большими потерями тепла в тепловых сетях из-за низкого качества их тепловой изоляции (эти сети укладывались, как правило, в непроходных каналах и зачастую были замочены. Контроль за потерями тепла в

тепловых сетях отсутствовал); отоплением с помощью высокопотенциального теплоносителя, поступавшего от централизованных систем теплоснабжения, было конвективным; отсутствием средств регулирования расхода тепла; использованием для большинства теплогенерирующих предприятий в качестве топлива газа, цены на который в то время были низкими и поэтому расходы за отопление были не очень обременительными для потребителей.

В последние годы произошел резкий рост цены за газ и традиционное отопление объектов стало дорогим. Появилась потребность в более экономном использовании газа и в альтернативных видах топлива, в современных системах отопления. Существуют конвективная и лучистые системы отопления.

Традиционная система отопления от напольных отопительных приборов – конвективная.

Более предпочтительным с точки зрения расхода тепла является лучистое отопление, которое позволяет получить 2 – 3 кратную экономию тепла и снизить общие затраты на отопление.

Известно, что теплоотдача с поверхности тела человека происходит конвекцией, кондукцией, излучением и при испарении потом.

Конвекция (от лат. *convectio* – «перенесение») - явление переноса теплоты в жидкостях или газах, или сыпучих средах потоками вещества. Существует т.н. **естественная конвекция**, которая возникает в веществе самопроизвольно при его неравномерном нагревании в поле тяготения. При такой конвекции нижние слои вещества нагреваются, становятся легче и всплывают, а верхние слои, наоборот, остывают, становятся тяжелее и опускаются вниз, после чего процесс повторяется снова и снова.

Нагретые жидкость или газ (воздух) расширяются, их плотность уменьшается, они начинают всплывать (под действием выталкивающей силы Архимеда). За счет этого возникают локальные течения, которые эффективно уносят тепло из нагретой зоны, что сводит к минимуму влияние теплопроводности на процесс теплообмена.

Кондукция. Кондуктивной теплопередачей называется передача тепла, полученного при помощи молекулярной активности или внутреннего вибрационного движения молекул. Проще говоря, когда тепло передано из одной части твердого тела к следующей, путем молекулярного столкновения. Тепло, полученное при помощи теплопередачи кондукцией, зависит от свойств материала, через который осуществляется теплопередача. Например, кондуктивная теплопередача хорошо осуществляется через металлы. Гораздо хуже тепло передаётся через неметаллические материалы, такие как камень и кирпич.

И совсем плохо - через органические материалы, шерсть, дерево, и т.д.

Для оценки теплопроводных свойств тех или иных веществ существует коэффициент теплопроводности, который определяет склонность материала к пропуску потока тепла. Тепловой поток будет интенсивнее в телах, которые имеют повышенный коэффициент теплопроводности (они называются теплопроводниками), и меньшим для тел с пониженным коэффициентом теплопроводности. Их называют термоизоляторами.

Излучение – перенос тепла от более нагретого тела, в том числе и человека, к менее нагретому. За счет излучения человек теряет до 50% тепла. Если увеличить среднюю температуру окружающих предметов, в т.ч. и строительных конструкций, то теплотери человеческого тела излучением уменьшаются, и без увеличения температуры окружающего воздуха появится ощущение тепла.

При излучении тепловая энергия передается электромагнитными волнами, подобно передаче тепла солнечной энергией на поверхность земли. Каждое нагретое тело излучает электромагнитную энергию в виде волн, часть из которых, попадая на препятствия, отражаются от них, преобразовываясь в тепловую энергию.

Человеку, находящемуся в помещении, если генерируемое тепло содержит компонент излучения, по ощущению кажется, что температура среды выше, чем, если бы такое же количество полезного тепла передавалось только конвективным способом.

При лучистом отоплении температура, ощущаемая человеком, называется температурой ощущения комфорта или температурой теплоощущения, эффективной температурой, температурой комфорта и т.п., а измеренная с помощью обычного термометра температура в помещении – температурой воздуха. Разность этих двух температур определяет увеличение ощущения тепла за счет лучистого отопления.

Применение лучистого отопления по сравнению с традиционными видами отопления требует значительно меньших затрат. Вместе с тем, разработка проекта качественного лучистого отопления сложнее, чем конвективного, поскольку возникает необходимость учитывать множество условий, влияющих на тепловой комфорт.

При передаче энергии конвекцией (потоком воздуха) и кондукцией (проводимостью) теплый воздух, нагретый отопительными приборами, распространяется в помещениях и передает тепловую энергию предметам, находящимся в помещении, а сам отопительный прибор – источник энергии охлаждается.

Человек в отапливаемом помещении ощущает тепло, как тепловую энергию окружающего его воздуха и предметов, с которыми он соприкасается.

Конвективный и лучистый теплообмен.

Отопительными устройствами при лучистом отоплении являются излучатели, размещаемые на определенной высоте от пола помещений, которые излучают электромагнитные волны в определенном направлении. Эти электромагнитные волны проходят через воздух и, встречаясь с препятствиями (пол, стены, оборудование, человек, мебель), частично поглощаются ими и согревают их.

При этом воздух в помещении нагревается от нагретых излучателями предметов.

На ощущения человека, находящегося в помещении, влияют: температура и влажность воздуха в помещении; скорость перемещения воздуха; распределение температуры по высоте помещения; температура плоскостей, ограничивающих помещение; уровень активности человека; тепловое сопротивление одежды; разница между температурой теплоощущения и температурой воздуха.

Обычно температура воздуха в помещениях относится к первичному критерию оценки теплового состояния отапливаемого здания, и вместе со скоростью перемещения воздуха определяют конвективную передачу тепла между человеком и средой, в которой он находится.

При конвективной системе отопления температура воздуха по высоте помещения возрастает и всегда сверху на несколько градусов выше, чем на уровне пола.

Идеальное отопление то, при котором на уровне головы человека (до 2-х метров от пола) температура была бы ниже на 2⁰С, чем на высоте 5 – 10см над полом. При таком распределении температур по высоте помещения примерно одинаковыми будут ощущения человека при температуре в помещении 20⁰С (в первом случае) и 18⁰С – во втором случае.

Строительные нормы устанавливают разности между температурой воздуха в помещении и на внутренней поверхности ограждающей конструкции. По новым нормам в жилых помещениях $\Delta t \leq 4^{\circ}\text{C}$, в помещениях гражданских зданий $\Delta t \leq 5^{\circ}\text{C}$ и $\Delta t \leq 7^{\circ}\text{C}$ – для человека, находящегося в состоянии физической работы в производственных помещениях с сухим и нормальным режимом эксплуатации.

Относительная влажность воздуха в пределах 35 – 70% незначительно влияет на ощущение теплового комфорта, находящегося в таком помещении человека, т.к. к такой влажности человек привычен. При большей влажности может образовываться на поверхности стен плесень, отрицательно влияющая на здоровье и человека, и ограждающие конструкции. Бороться с плесенью достаточно трудно.

Кроме того, на комфорт человека в помещении влияет содержание в воздухе частиц пыли, газов и испарений разного типа, а так же содер-

жание микроорганизмов или бактерий. Но эти критерии качества воздуха скорее относятся к его санитарно – гигиеническим условиям и поэтому в этой работе не анализируются.

Нормирование условий труда при лучистом отоплении. В соответствии с требованиями п. 5.7 (10) «в помещениях при лучистом отоплении и нагревании (в т.ч. с газовыми и электрическими инфракрасными излучателями) или охлаждении постоянных рабочих мест или мест постоянного пребывания людей, температура воздуха следует принимать по расчету с обеспечением температурных условий (результатирующей температуры), которая эквивалентна нормированной температуре воздуха в рабочей зоне или в зоне обслуживания помещения».

В п. 5.7. (10) установлено, что «при лучистом отоплении, а также нагревании от поверхности технологического оборудования, осветительных приборов, от остекленных ограждений и т.д. интенсивность теплового облучения в зоне обслуживания или в рабочей зоне помещения (на рабочих местах) не должна превышать 35 Вт/м^2 – при облучении 50% и больше поверхности тела; 70 Вт/м^2 – при облучении поверхности тела от 25% до 50% и 100 Вт/м^2 – при облучении не более, чем 25% поверхности тела человека. При наличии открытых источников излучение (нагретый металл, стекло, открытое пламя и т.д.) допускается интенсивность излучения до 140 Вт/м^2 .

При наличии источников с интенсивностью 35 Вт/м^2 и больше результирующая температура на постоянных рабочих местах или в местах постоянного пребывания людей не должна превышать верхней границы оптимальных норм, которые установлены для теплого периода года; на непостоянных рабочих местах – верхней границы допустимых норм, которые установлены для постоянных рабочих мест в теплый период года; на местах временного пребывания людей – верхней границы допустимых норм, которые установлены для теплого периода года в помещениях».

В п.5.9. установлено, что «в производственных помещениях, где невозможно обеспечить на рабочих местах нормированную интенсивность теплового излучения работающих до 140 Вт/м^2 из-за технологических требований, техническую недоступность или экономически обоснованную нецелесообразность, следует применять душирование рабочих мест наружным или охлажденным воздухом; температуру и скорость движения воздуха на рабочем месте при воздушном душировании следует принимать в соответствии с прил. «К» этого ДБН».

В помещениях для отдыха работников горячих цехов следует принимать температуру воздуха 20°C в холодный период года и 23°C – в теплый.

«Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны на рабочих местах в производ-

ственных помещениях при расчете систем лучистого отопления и нагревании, следует принимать такой, которая соответствует гранично допустимой концентрации (ГДК) в воздухе рабочей зоны в соответствии с ГОСТ 12.1.005, а также в соответствии с нормативными документами органа санитарно – эпидемиологического надзора».

Оценка конвективной и лучистой систем отопления. При конвективном отоплении тепло теряется:

- в котельной в зависимости от КПД котлов и состояния теплоизоляции теплопроводов;

- в тепловых сетях. В городских тепловых сетях нормы допускают максимальные теплопотери 13%. Такие теплопотери должны быть подтверждены соответствующими измерениями. Во многих случаях теплопроизводители декларируют потери и в сетях до 20%, а иногда и выше процентов, достоверно не обосновывая эту величину. В последние годы снизилось теплопотребление от централизованных источников и при сохранении существующих диаметров теплосетей значительно возросла их удельная материальная характеристика, а значит, и потери тепла за этот счет;

- в теплообменниках, установленных в помещениях (радиаторах, регистрах, конвекторах), в зависимости от их КПД;

- через ограждающие конструкции. Чем выше их теплотехнические характеристики, тем меньше теряется тепла через них и, следовательно, меньше потребность тепла на отопление здания;

- за счет кратности воздухообмена. Чем выше кратность воздухообмена, тем больше тепла теряется с удаленным из помещения при вентиляции воздухом.

Таким образом, для того, чтобы иметь в отапливаемых помещениях требуемую по нормам температуру воздуха, нужно возместить все перечисленные потери тепла.

КПД теплогенерирующего оборудования в теплогенераторных и котельных, а так же тепловые потери в тепловых сетях обычно характеризуются коэффициентом использования тепловой энергии в системе централизованного теплоснабжения – η_t , который при КПД оборудования в котельной 88% и потерях в тепловых сетях – 10% равен:

$$\eta_t = 0,9 * 0,88 = 0,79$$

Это значит, что в отапливаемые помещения поступает только 79% произведенной в котельной тепловой энергии, т.е. для отопления помещения при таких условиях должно быть произведено 126,6% тепла, необходимого для отопления и вентиляции помещения.

В соответствии с действующими нормами расчетные тепловые потери Q_1 , кВт, рассчитываются по формуле:

$$Q_1 = (Q_0 + Q_B) \quad (1)$$

где: Q_0 – тепловой поток, кВт, через ограждающие конструкции;

Q_B – потери теплоты, кВт, на нагревание

$$Q_0 = (A * 1/R) * (t_{в} - t_{р.о.}) * (1 + \sum \beta) * n * 10 - 3 \quad (2)$$

где: A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²;

R – сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции, м².°C/Вт;

$t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °C. Принимается по соответствующим нормам;

$t_{р.о.}$ – расчетная температура наружного воздуха для расчета отопления, °C;

β – добавочные потери теплоты в долях от

$$Q_B = 0,337 * A_n * h * (t_{в} - t_{р.о.}) * 10 - 3 \quad (3)$$

где: A_n – площадь пола помещения, м²;

h – высота помещения от пола до потолка, но не более 3,5 м.

При однократном воздухообмене расход теплоты на нагрев вентиляционного воздуха может составлять до 40% от общих тепловых потерь здания, т.е. $Q_1 = 1,4 * Q_0$.

При централизованном теплоснабжении на отопление затрачивается от 56 до 66% от тепловой мощности теплопроизводящего в котельной оборудования, т.е. мощность такого оборудования должна быть в 1,52 – 1,79 раза большей, чем требуется тепла для компенсации теплопотерь через ограждающие конструкции здания.

Лучистая отопительная система. Инфракрасное (ИК) излучение – это электромагнитное излучение в виде электромагнитных волн, занимающее спектральную область между красным концом видимого света (с длиной волны 0,74 мкм) и коротковолновым излучением (1 – 2 м). В области инфракрасного излучения находится и видимый свет с длиной волн от $3,9 * 10^{-7}$ м до $7,4 * 10^{-7}$ м.

Инфракрасное излучение способно нагревать предметы, на которые оно попадает.

Любой объект, с температурой выше минус 273°С излучает, а спектр его излучения определяется только его температурной и излучательными свойствами.

ИК – излучение имеет две важные характеристики:

- длину волны (частоту);
- интенсивность излучения.

$$Q = \epsilon_1 * \delta * (T_1 / 100)^4 - \epsilon_2 * \delta * (T_2 / 100)^4 \quad (6)$$

Для практических целей (оценки) теплоотда-

$$Q = S_1 * \epsilon_1 * \delta * (T_1 / 100)^4 - S_2 * \epsilon_2 * \delta * (T_2 / 100)^4 \quad (7)$$

где: Q – результирующая энергия лучистого теплообмена двух тел;

S_1 и S_2 – площадь поверхности излучающих тел, м²;

ϵ_1 и ϵ_2 – коэффициент эмиссии излучающих тел (степень черноты);

вентиляционного воздуха.

Тепловой поток Q_0 , кВт, для каждого элемента ограждающей конструкции рассчитывается по формуле:

основных;

n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху и принимаемый по СНиП II-3-79**.

При однократном воздухообмене потери теплоты, Q_B , кВт, при естественной приточно – вытяжной вентиляции, рассчитываются для каждого отапливаемого помещения, имеющего окна, по формуле:

В инфракрасном спектре есть две области:

- первая, с длинами волн до 2,4 мкм, влияние которой на организм отрицательное;

- вторая, с длиной волн примерно от 7 до 14 мкм. Это длинноволновая часть инфракрасного диапазона, оказывающая на организм полезное действие. Эта часть ИК – излучения соответствует излучению самого человеческого тела с максимумом на длине волны – 9,6 мкм.

Доказано, что ИК-излучение подчиняется законам оптики и имеет ту же природу, что и видимый свет.

Известно, что основное соотношение теплообмена излучением (Закон Стефана – Больцмана), определяющее интегральный поток энергии для всех длин волн, выглядит:

$$E_L = \delta * (T / 100)^4 \quad (4)$$

где: E_L – излучение 1 м² абсолютно черного тела, Вт/м²;

δ – постоянная излучения абсолютно черного тела – 5,68 Вт/(м².К⁴);

T – температура излучающего тела в К ($t + 273$)

Для практического применения основное соотношение теплообмена выглядит:

$$E_L = \epsilon * \delta * (T / 100)^4 \quad (5)$$

Теплообмен между двумя телами равен разности значений излучений обоих тел.

В случае двух тел, имеющих площади теплообмена равные 1 м², и находящихся бесконечно близко друг к другу величина теплообмена равна:

чу излучающих тел определяют:

T_1 – температура поверхности излучающего тела в градусах Кельвина, (К);

T_2 – температура среды (помещения), К.

Между длиной волны - максимума излучения и температурой (в градусах Кельвина) существует строгая зависимость (Закон Вина):

Вісник Сумського національного аграрного університету

Серія «Будівництво», випуск 10 (19), 2015

$$\lambda_{\max} * T = \text{const} = 2896 * 10^{-6} \quad (8)$$

Распределение энергии излучения по различным направлениям описывается Законом Ламберта.

Количество энергии dE_{φ} , излучаемое элементом поверхности dS_1 в направлении элемента dS_2 , равно количеству энергии, излучаемой в направлении нормали dE_n , умноженному на ве-

$$E_n = E / \pi = C_0 * \xi * (T/100)^4 / (C.\pi) \quad (10)$$

Согласно закону квадратов расстояний плотность потока точечного источника (источника малых размеров) равна:

$$E_r = E_1 / r^2 \quad (11)$$

где: E_1 – плотность потока на расстоянии единицы длины от излучателя.

Для протяженного источника показатель степени r уменьшается от 2 до 0 при увеличении размеров источник от 0 до бесконечности. В частности для линейного источника, для которого

$$E_0 \lambda = 2 * \pi * C_1 * \lambda^{-5} / (eC_2 / (\lambda T) - 1) \quad (12)$$

где: C_1 – постоянная, равная $5,944 * 10^{-17} \text{ Вт/м}^2$;

$$C_2 = 1,4388 * 10^{-2} \text{ мК}$$

Отопление с помощью ИК – излучателей.

Рассмотрим объект таких же параметров, что и в случае применения обычной (конвективной) централизованной системы отопления, но с использованием для отопления лучистых обогревателей.

Система отопления с помощью лучистых излучателей будет состоять из централизованных источников энергии, которыми являются ИК – излучатели, и приемника энергии, которыми являются элементы здания, оборудование, установленное в здании и сам человек. Поглощенная энергия волны на элементах преобразуется в тепловую энергию, а согретые элементы здания, установленное в нем оборудование нагревают воздух.

При этом температура теплоощущения всегда выше температуры воздуха в помещении, т.к. часть энергии человек получает не от соприкосновения с воздухом, а посредством излучения.

Данный процесс описывается формулой:

$$t_{\text{эф}} = t_{\text{в}} + t_{\text{л}} \text{ OC} \quad (13)$$

где: $t_{\text{эф}}$ – температура теплоощущения человека;

$t_{\text{в}}$ – температура воздуха;

$t_{\text{л}}$ – добавка к температуре $t_{\text{в}}$, образованная лучистым потоком:

$$t_{\text{л}} = I_{\text{л}} * 0,0716 \quad (14)$$

где: $I_{\text{л}}$ – интенсивность потока;

0,0716 – константа, полученная опытным

путем.

Подставив (14) в (13), получаем:

$$t_{\text{эф}} = t_{\text{в}} + I_{\text{л}} * 0,0716 \quad (15)$$

Согласно равенству (15) лучистый поток с

личину телесного угла $d\omega$ и косинуса угла φ между нормалью к этим элементам:

$$dE_{\varphi} = d\omega * dE_n * \cos\varphi \quad (9)$$

Из закона Ламберта следует, что излучательная способность в направлении нормали E_n пропорционально в π раз меньше полной излучательной способности:

его размеры соизмеримы с расстоянием от источника к облучаемому объекту, этот показатель степени равен 1.

Коэффициент C зависит от конструкции облучателя.

Закон Планка устанавливает зависимость спектральной интенсивности излучения абсолютно черного тела от его температуры T и длины волны λ :

интенсивностью 100 Вт/м^2 образует добавку температуры от излучателя в размере $7,16^{\circ}\text{C}$.

А это значит, что для результирующей комфортной температуры 18°C при лучистом потоке 100 Вт/м^2 достаточно иметь температуру воздуха:

$$t_{\text{в}} = 18 - 7,16 = 10,84^{\circ}\text{C}$$

Из формулы (15) следует, что, изменяя интенсивность облучения площадей, можно получать различные температуры теплоощущения в разных частях здания.

Это позволяет создавать зоны и локальные места с температурой выше, чем в остальных частях помещения.

Экономика лучистого отопления. Анализ лучистого отопления позволяет выделить пять составляющих его экономичности:

1. Использование децентрализованного принципа отопления, который обеспечивает экономии средств, т.к. нет затрат на:

- нагрев теплоносителя (воды) и его подачу (транспорт) к потребителю;
- отпадает необходимость в строительстве и обслуживании теплотрасс;
- содержание теплосетей;
- отсутствуют потери тепла при нагреве теплоносителя до температуры на подаче;
- потери тепла и теплоносителя в тепловых сетях при его транспортировке;
- расходы на содержание котельной и на амортизацию котельной и тепловых сетей;
- остальные составляющие, входящие в стоимость единицы тепла от централизованного источника.

2. Экономия за счет различия в физических принципах отопления:

- обогреваются оборудование, человек, а не воздух;

- более высокая температура в 5 – 10 см от пола по сравнению с температурой на высоте 1,7 – 2 м позволяет ощутить комфорт при более низкой температуре на этой высоте.

3. Возможность применения зонального и локального отопления и за этот счет общую температуру в помещении иметь ниже, чем при отоплении от централизованного источника.

4. Безинерционность лучистой системы отопления. Достижение необходимой температуры после запуска в начале смены наступает примерно за 10 – 25 минут. По истечении этого времени на рабочем месте создается температурный комфорт.

5. Возможность управлять отоплением с учетом изменения внешней температуры. При наличии специальных систем управления (СУ) в переходные времена года (осень - зима, - зима – весна), которые учитывают особенности отопления в эти периоды, лучистое отопление позволяет экономить до 60% энергии по сравнению с централизованным конвективным способом отопления.

Преимущества лучистого отопления. Лучистое отопление, независимо от типа излучателя имеет следующие преимущества:

- позволяет обеспечить экономию, связанную с потреблением энергии для отопления;

- позволяет отапливать помещения с учетом изменения температуры наружного воздуха;

- при лучистом отоплении отсутствует движение масс воздуха и пыли. При конвективном отоплении, чем выше температура теплоносителя в системе отопления, чем интенсивнее переносится пыль;

- лучистая система, по сравнению с тепло-воздушной, создает минимальный шум, а в некоторых видах излучателей он отсутствует вообще;

- исключается подготовка, потребление и потери теплоносителя (воды);

- снижаются выбросы парниковых газов в окружающую среду, так как уменьшается расход топлива;

- размещение излучателей в верхней части помещений позволяет не занимать ими активную площадь этих помещений.

Это общие преимущества лучистого отопления, независимо от типа излучателей. Отдельные типы излучателей имеют дополнительные преимущества.

Недостатки лучистого отопления:

- газовые излучатели не могут использоваться в помещениях категории А и Б, а использование их в помещениях категории В требует дополнительного согласования;

- степень безопасности для людей зависит от типа излучателя. Кроме того, эффективность лучистого отопления зависит от:

- высоты помещения;

- правильности теплотехнических расчетов;

- правильности применения тех или иных излучателей;

- системы управления работой излучателей.

Виды излучателей и их воздействия на организм человека.

1) **Газовые темные** (трубчатые) инфракрасные обогреватели (ИТГО).

Конструкция инфракрасного трубчатого (темного) газового обогревателя (ИТГО) довольно проста. В трубе (линейной или U-образной) происходит контролируемое сжигание природного газа, а получаемое тепло отражателем направляется в заданное место.

Как правило, оборудование ИТГО размещается под потолком или под углом на стене помещения и инфракрасный поток энергии поступает вниз, отражается от препятствий, преобразуясь в тепло, которое обогревает пол, нижние части стен, людей и при этом в несколько раз сокращает расход тепла на обогрев стен, деталей, инструмента и работающих в помещении людей.

Экономия тепла получается за счет отсутствия его потерь в тепловых сетях, уменьшенных потерях тепла через покрытие и верхние части стен (температура под потолком на 3 – 4⁰С меньше, чем на уровне головы человека). При традиционном отоплении она значительно выше, чем на уровне головы человека. Кроме того, расход тепла сокращается за счет его получения непосредственно человеком, а также за счет возможности поддержания значительно более низкой температуры в помещении в нерабочее время, в выходные и праздничные дни.

Итак, эти излучатели обычно состоят из:

- атмосферной горелки;

- отражателей;

- вентилятора;

- системы обеспечения подачи и сгорания газа.

Идеальный ИТГО имеет лучистую составляющую 70 – 75% всего тепла, полученного от сжигания газа.

Чтобы получить высокий процент лучистой составляющей, необходимы следующие условия:

- соответствующий материал излучающих труб;

- соответствующий материал и конструкция отражателя (рефлектора);

- необходимый диапазон температур по всей длине трубы.

В таких излучателях КПД лучистой составляющей 45 – 65%, длина волны 3,6 – 8,1 мкм.

При длине волны до 3 мкм существует опасность отрицательного влияния излучения на организм человека. При использовании таких излучателей для обогрева нужно иметь необходимые санитарно – гигиенические допуски и применять дополнительные меры защиты чело-

Вісник Сумського національного аграрного університету

века в зоне излучения.

В Украине максимально допустимая плотность облучения 140 Вт/м^2 .

По ф. (15) температура теплоощущения человека $t_{\text{эф}}$ при расчетной зимней температуре -24°C и указанной выше плотности облучения:

$$t_{\text{эф}} = -24 + 140 * 0,0716 = -14^\circ\text{C}$$

Таким образом, в г. Сумы создать даже локальный «островок тепла» с комфортной температурой в здании без нарушения гигиенических норм нельзя. Иначе нужно переоблучать площадь здания и заплатить здоровьем людей, на ней находящихся.

2) Супертемные излучатели.

В таких излучателях длина волны $6 - 14 \text{ мкм}$ и поэтому они практически безопасны для человека. Иногда их называют каминными излучателями.

В таких излучателях эффективная поверхностная температура излучающего тела $150 - 200^\circ\text{C}$. Их целесообразно использовать в объектах с хорошими теплотехническими свойствами ограждающих конструкций.

3) Светлые газовые инфраизлучатели (ГИИ).

В таких излучателях длина волны от $1,55$ до $2,55 \text{ мкм}$, т.е. во всем спектре такая длина волны оказывает отрицательное влияние на организм человека. Поэтому использование таких излучателей для отопления помещений ограничено. Кроме того, такие помещения требуют дополнительной вентиляции, т.к. в этих излучателях нет отвода отработанных дымовых газов. Потери тепла с дымовыми газами у таких излучателей достигает до 30% , в то время, как у ИТГО - $10 - 15\%$.

Светлые излучатели используют, как правило, для сушки и размораживания различных материалов, т.е. в тех помещениях, где присутствие человека ограничено. А газовые системы лучистого обогрева (ГСЛО) с темными и супертемными излучателями применяются в объемных зданиях (культовых, спортивных, промышленных и т.п.), в которых предъявляют достаточно высокие гигиенические требования к микроклимату помещений. Нарушение гигиенических требований приводит к дискредитации самого лучистого отопления и порой к отказу от него.

Конструкции светлых горелок не дают возможности самостоятельно выводить продукты сгорания газа из помещений. При применении светлых горелок необходимо обеспечить трехкратный воздухообмен в помещении. Это требование п. 6.92. ДБН В.2.5-20-2001 «Газоснабжение».

Но при трехкратном воздухообмене мощность излучателя, установленного в помещении, увеличивается почти в три раза, а потребление газа – до 1,7 раза.

В этой связи происходит дальнейшая до-

полнительная эмиссия в помещения загрязняющих веществ. И это делает применение ГИИ не только вредным для здоровья, но и дорогим.

Поэтому светлые излучатели без принудительной вентиляции применяться в производственных помещениях не могут.

ГОСТ 12.1.005-88 нормирует интенсивность (плотность) облучения. Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, «открытое пламя» и др.) не должна превышать 140 Вт/м^2 , при этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в т.ч. средств защиты лица и глаз».

Излучение, имеющее длину волны $\lambda < 1,5 - 2,5 \text{ мкм}$, негативно влияет на человека.

Если интенсивность инфракрасного излучения превышает предельно допустимые значения, то его влияние проявляется в следующем:

- нарушение сократительной функции миокарда, учащение сердцебиения, повышение систолического и понижение диастолического давления;
- отклонение в функционировании желудочно – кишечного тракта;
- нарушение иммунной системы;
- возникновение заболеваний глаз.

Поэтому определяющим при оценке воздействия излучателей на организм человека должна быть не плотность потока инфракрасного излучения, а спектральные характеристики излучения, генерируемого тем или иным источником.

Излучение внешних источников с максимумом энергии в области 3 мкм и 6 мкм интенсивно поглощается кожей и водой организма. Повышение температуры кожи они вызывают, но при этом физико – химические процессы в организме наименее выражены и протекают более благоприятно.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

- для отопления зданий большого объема с энергетической и экономической точки зрения целесообразно применение излучателей;
- среди различных газовых средств лучистого отопления (ГСЛО) принципиальные преимущества имеют инфракрасные темные газовые обогреватели (ИТГО) перед газовыми инфракрасными излучателями (ГИИ). Отопление рабочих зон, особенно станочных, ГИИ должно быть максимально ограничено и допускаться только при наличии гигиенических обоснований. При этом должно обязательно выполняться требование п. 6.92 ДБН В.2.5-20-2001;
- в Украине разрешенный уровень облучения по ГОСТ 12.01.005-88 ниже соответствующих европейских стандартов;
- инфракрасные темные газовые обогреватели (ИТГО) и газовые инфракрасные обогрева-

тели (ГИИ) для отопления жилых помещений, помещений в школьных, дошкольных учреждениях, в административных зданиях применяться не могут.

Обоснование необходимой кратности воздухообмена при использовании светлых газовых обогревателей. В светлых газовых инфракрасных излучателях (ГИИ) при температуре излучателя 850 – 1200⁰С последние становятся мощным источником инфракрасного излучения. При температуре 1200⁰С (1473 К) мощность излучения с 1 м² может достичь 140 кВт, КПД лучистой составляющей – 45 – 65%.

Тепловая энергия, генерируемая излучателем, распределяется на два вида: конвективную и лучистую. При этом отношение лучевой энергии к тепловой называется лучевой эффективностью

$$Q = (955 - 20) * (10 * 1,1 + 1) * 0,34 = 3815 \text{ Вт}$$

Лучистая составляющая часть выработанного светлым излучателем тепла:

$$Q_n = 9,7 - 3,815 = 5,885 \text{ кВт}$$

$$Q_n / Q = 5,885 / 9,7 = 0,607 (60,7\%)$$

В данном расчете лучистый КПД светлого излучателя 60,7%. Реальный лучистый КПД у ГИИ находится в пределах 60 – 65% и большим быть не может.

При полном сжигании природного газа выработывается вода и двуокись углерода. При неполном сгорании в выбросах появляется угарный газ СО. Кроме того, в выхлопных газах имеется среди других примесей и окись азота NO_x.

У светлых инфракрасных излучателей естественный уровень NO_x в выбросах ниже, чем у темных горелок и достигает 20 – 50 мг/м³. Выбросы оксидов углерода в ГИИ колеблется от 100 мг/м³ до 250 мг/м³.

У ИТГО измеряемые уровни СО находятся от 0 до предельно допустимых 100 мг/м³, а уровень NO_x – от 80 мг/м³ до 150 мг/м³.

Конструкции светлых горелок не дают возможности самостоятельно выводить продукты сгорания из помещения. При применении светлых горелок необходимо обеспечить трехкратный воздухообмен в помещении. Это требование п. 6.92 ДБН В.2.5-20-2001.

К сожалению, на большинстве предприятий Украины, где установлены светлые излучатели,

излучателя или лучистым КПД. В светлых излучателях лучистый КПД находится в пределах 60 – 65%.

Известно, что при атмосферном давлении в факеле при сгорании природного газа можно получить температуру не более 2010⁰С (при соотношении воздуха 10:1 и α=1). При коэффициенте избытка воздуха α= 1,1 высшая температура горения газа – примерно 1890⁰С. Если на высоте подвески излучателей температура воздуха равна 20⁰С, то на поверхности керамических пластин (отражателей) установится средняя температура (1890 + 20) / 2 = 955⁰С. Теплотворная способность 1 м³ природного газа обычно 37 МДж (9,7 кВт-час).

С дымовыми газами при сгорании 1 м³ природного газа уносится конвективного тепла:

игнорируется требование п. 6.92 ДБН В.2.5-20-2001, что приводит к:

- увеличению влажности в помещениях;
- попаданию токсичных СО и NO_x в помещение;
- аккумуляции продуктов сгорания на элементах здания;
- выбросу 2,25 кг воды и 2,75 кг углекислого газа на каждый кг сжигаемого природного газа. Один м³ газа весит примерно 0,8 кг.;
- появлению сквозняков в помещении;
- отрицательным воздействиям на организм человека.

В темных горелках имеется возможность дымоотвода за пределы помещения и подачи воздуха для горения из-за пределов помещения.

Итак, ГИИ выделяют в отапливаемые ими помещения:

- углекислый газ СО₂;
- угарный газ СО;
- окись азота;
- влагу и связанное с ней скрытое тепло.

При высоких концентрациях СО₂ наблюдается его негативное воздействие на человеческий организм. В таблице 1 приведено влияние СО₂ на организм человека.

В этой таблице один л/м³ равен 0,1% по объему или 1,9 г/м³.

Таблица 1

Концентрация СО ₂			Результаты воздействия СО ₂
л/м ³	% по объему	г/м ³	
1 - 2	0,1 – 0,2	1,9 – 3,8	При непрерывном воздействии нарушается электролитический баланс в организме
2	0,2	3,8	После нескольких часов воздействия появляется слабая головная боль, одышка
3	0,3	5,7	Одышка, сильная головная боль, обильное выделение пота

Установлено, что риск возникновения «синдрома дискомфорта здания» значительно снижается, если концентрация углекислого газа не превышает 0,08% (1,52 г/м³).

Ниже приводится расчет необходимой вентиляции при применении ГИИ при следующих исходных данных:

- удельный вес природного газа – 0,8 кг/м³;

- для выработки 250 кВт энергии при удельной теплоемкости газа 9,7 кВт/м³ необходимо сжечь: $250 / 9,7 = 25,8 \text{ м}^3$ газа;

- 250 кВт излучатель в час вырабатывает:

- углекислого газа: $25,8 * 0,8 * 2,75 = 57 \text{ кг}$;

- воды: $25,8 * 0,8 * 2,25 = 46,5 \text{ кг}$

- в среднем в условиях Украины за восьмичасовую смену ГИИ суммарно работает 5 – 6 часов;

- стандартные горелки ГИИ в стационарном режиме в исправном состоянии генерируют в помещение примерно 240 м³/час выхлопных газов или в среднем в час в рабочую смену: $240 * 5 / 8 = 150 \text{ м}^3$ и приблизительно 500 – 1250 мг/м³ СО₂ для излучателей мощностью 250 кВт.

Общее количество СО:

$$240 * 500 \div 240 * 1250 = 120000 \div 300000 \text{ мг/час}$$

при непрерывной работе излучателей мощностью 250 кВт. Среднее значение СО в течение смены работы ГИИ:

- углекислого газа СО:

$$(120000 \div 300000) * 5 / 8 = 75000 \div 187500 \text{ мг};$$

- окиси азота NO_x – $100 \div 250 \text{ мг/м}^3$ для ГИИ мощностью 250 кВт или за 5 часов в смену:

$$(100 * 240 \div 250 * 240) * 5 / 8 = 15000 \div 37500 \text{ мг/час};$$

- при естественном воздухообмене 250 кВт ГИИ в климатических условиях Украины реально обогревает $10000 \div 12500 \text{ м}^3$ объема промышленных зданий;

- кратность естественного воздухообмена в промышленных зданиях находится примерно на уровне 0,5 ÷ 0,7, т.е. каждый час выбросы разбавляются естественным путем: $12500 * 0,7 = 8750 \text{ м}^3$ поступающего в помещение воздуха.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ сумма отношений фактических концентраций каждого из них (С₁, С₂...С_n) в воздухе к их ПДК (ПДК₁, ПДК₂...ПДК_n) не должна превышать единицы, т.е.:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1 \quad (16)$$

Эта формула описывает условие, при котором в помещении не требуется принудительная вентиляция.

Молекулярная масса СО₂ равна 46, т.е. этот газ тяжелее воздуха, для которого М=29, в 46 / 29 = 1,6 раза. Соответственно плотность СО₂ при 20⁰С равна 1,9 кг/м³ против 1,2 кг/м³ для воздуха.

Расчет по СО: $75000 / 8750 * 20 = 0,43$

Расчет по NO_x: $15000 / 8750 * 7 = 0,25$

Расчет по СО₂: $[(57000 / 8750) + 1] / 3,8 = 1,99$

По формуле (16):

$$0,43 + 0,25 + 1,98 = 2,66 > 1$$

В данном расчете выбросы самые мягкие,

сводящие параметры функционирования ГИИ и не учитывались выделения вредностей в процессе производства в цеху. При этом для обеспечения выполнения гигиенических условий по качеству воздуха в производстве, где применяются ГИИ, необходима вентиляция с кратностью большей, чем 2,66.

Таким образом, этот расчет подтверждает необходимость трехкратной вентиляции, как этого требует п. 6.92 ДБН В.2.5-20-2001. Но в связи с подачей воздуха для вентиляции значительно увеличивается тепловая нагрузка и расход электроэнергии.

В этой связи происходит дальнейшая дополнительная эмиссия в помещения загрязняющих веществ. И это делает применение ГИИ не только вредным для здоровья, но и дорогим. Поэтому светлые излучатели без принудительной вентиляции применяться не могут (в цехах).

На излучающей поверхности ГИИ поддерживается температура $800 \div 1200^{\circ}\text{C}$, а в темных ИТГО – $330 \div 550^{\circ}\text{C}$. У «светлых» излучателей мощность, снимаемая с единицы поверхности, порядка $100 - 140 \text{ кВт/м}^2$, а у темных – $6 \div 8 \text{ кВт/м}^2$. Но практически ГИИ мощностью 50 кВт имеют площадь излучения примерно $0,3 \text{ м}^3$, а ИТГО примерно 5 м^2 . Повышенная эффективность лучеиспускания у ГИИ достигается за счет более высокой температуры излучающей керамики и влечет за собой сдвиг спектра в сторону более вредного коротковолнового излучения. Такие излучатели передают большую часть лучистой энергии волнами с длиной 1,55 – 2,55 мкм. У них максимум излучения достигается при температуре 950°C и находится на длине волн 2,36 мкм.

Интегральная плотность у ГИИ во всем диапазоне излучения примерно в 15 – 20 раз выше, чем у ИТГО, а общее количество лучевой энергии обоих типов излучателей близки по величине.

Поэтому пребывание человека в помещении с отоплением от ГИИ должно быть максимально ограничено.

Пленочные лучистые электронагреватели. В настоящее время появилась лучистая система отопления на основе пленочных лучистых электронагревателей, в которой плотность облучения поверхности не более 100 Вт/м^2 , а длина волны 9 мкм.

Такие лучистые электронагреватели можно применять и в жилых помещениях, а также в учреждениях и организациях с постоянным в течение смены пребыванием людей.

Инфракрасные пленочные лучистые электронагреватели (ПЛЭН) – это наиболее рациональное современное техническое средство обогрева жилых и нежилых помещений.

Система обогрева на основе ПЛЭН надежно обеспечивает требуемую температуру воздуха в

помещениях, где она смонтирована, при минимальном потреблении электроэнергии.

Пленочные лучистые электронагреватели монтируются на утеплитель, укрепленный к потолку. Обычно ПЛЭН занимает до 80% общей площади потолка и обеспечивает равномерный обогрев помещения, создавая высокий тепловой комфорт.

В комнате площадью 20 м² площадь ПЛЭН примерно 16 м² и при стоимости \$27/м² общая стоимость пленочного материала \$440.

Преимущества лучистого отопления с помощью ПЛЭН:

- в помещении сохраняется естественная влажность и содержание кислорода, т.к. система не сжигает кислород в помещении, не пересушивает воздух;
- температура нижних участков стен и пола на 2 – 3⁰С выше по сравнению с их температурой при отоплении от газового котла или от централизованной системы отопления;
- многократное снижение пыли в воздухе. В воздухе отсутствуют продукты сгорания;
- система работает абсолютно бесшумно;
- отсутствуют расходы на ремонт и обслуживание системы;
- благотворное влияние на организм инфракрасного излучения, что позволяет компенсировать «солнечный голод» в зимний период;
- для запуска системы не требуются дополнительные коммуникации, кроме электроснабжения;
- срок запуска системы в коттедже площадью 100 м² в пределах одной недели;
- при необходимости система может быть демонтирована без ущерба для ее работоспо-

собности;

- срок эксплуатации – не менее 50 лет;
 - система не боится перепада напряжения и временного отключения электроэнергии;
 - систему невозможно разморозить, т.к. в ней нет жидкости;
 - помещение, оборудованное системой ПЛЭН, можно оставлять без присмотра на длительное время;
 - система ПЛЭН может оставаться постоянно подключенной к электропитанию в течение всего года, что обеспечивает температурный комфорт в прохладные и сырые дни в межотопительном периоде;
 - повышение температуры воздуха с 10 до 20⁰С происходит всего за 40 – 50 мин. При конвективном способе обогрева (от батарей, установленных над полом), чтобы нагреть воздух с 10 до 20⁰С требуется не менее 10 часов;
 - ПЛЭН можно закрыть любым декором, не содержащим металлических частиц и обеспечить высокую эстетичность потолка. ПЛЭН обычно закрывают отделочными материалами: обои, полистирольные пластины, вагонка, подвесные потолки и др. Это те же материалы, которые используются для внутренней отделки помещений при отсутствии ПЛЭН. Запрещаются к применению только изделия из токопроводящих материалов (сталь, медь и др.).
- Инфракрасные излучатели безопасны для человека, когда длина волн этого теплового излучения близка к длине волн, излучаемых телом человека.
- При близких длинах волн человека и излучателя инфракрасное излучение имеет лечебный эффект.

Таблица 2

№ п/п	Наименование элемента	Максимальная температура на поверхности, °С	Длина волны, λ в мкм	Примечание
11	Батарея конвективного отопления, конвектор, труба в системе водяного отопления	+90	7,9	
2	Тело человека	+36,6	9,35	
32	Потолок комнаты при температуре воздуха на уровне головы человека t=22 ⁰ С	+30	9,48	
43	Стены помещения при той же температуре воздуха на уровне головы человека, t = 22 ⁰ С	+22	9,7	
54	Пленочный лучистый электронагреватель (ПЛЭН)	+50	9,0	

Излучение ПЛЭН – это тепловое излучение длинноволнового инфракрасного диапазона, длина волны которого близка к диапазону излучения тела человека.

В таблице 2 приведены длины волн теплового излучения и температуры на поверхности средств и элементов, принимающих участие в процессе теплопередачи.

Общий вид потолка в помещении, в котором смонтирован ПЛЭН, показан на рис. 1.

Источник питания ПЛЭН – 220 В ±5%, 50 Гц.

Тепловая мощность поверхности нагревателя – не более 100 Вт/м².

Толщина пленки – не более 400 мкм.

Вес 1м² – не более 0,52 кг.

Обогрев пленочными лучистыми электронагревателями связан с необходимостью иметь для их работы электроэнергию, использование которой для отопления обычно ограничивают периодом провала в использовании мощностей электрогенерирующих предприятий, т.е. в ночной период.



Рис. 1. Общий вид потолка в помещении, в котором смонтирован ПЛЭН.

Но при наличии трехзонного учета расхода электроэнергии это период наиболее низких цен за электроэнергию и поэтому целесообразно его использовать для ПЛЭН, а в остальное время суток отапливать от иных источников теплоснабжения.

В таблице 3 приведены ориентировочные затраты на отопление коттеджа площадью 150 м² в гривнах от различных источников тепла в ценах до падения курса гривны, начиная с февраля 2014 года.

Но отопление от двух источников, например,

для коттеджа площадью 150 м² связано с достаточно большими единовременными затратами на сам источник отопления.

Поэтому ниже приводится сопоставление эксплуатационных затрат от одного источника отопления для того же коттеджа площадью 150 м² с ограждающими конструкциями, качество которых соответствует требованиям, предъявляемым к таким зданиям до 01.01.2014 г. (до ввода в действие ДБН В.2.6-31:2006 с изменениями №1) - с расходом тепла 140 кВт·час/м²·год.

Таблица 3

№ п/п	Наименование работ	Стоимость работ при отоплении		
		Газовый котел	Электроотопление	ПЛЭН
1. Строительно – монтажные работы				
	Проектирование наружного газопровода длиной до 50 м	6000	---	---
2	Проект системы отопления и установки котла	9000	4000	---
3	Монтаж наружного и внутреннего газопровода	22000	---	---
4	Стоимость котла мощности 15 кВт	8000	3000	---
5	Монтаж и подключение котла	6000		
6	Радиаторы	7500	7500	
7	Металлопластик и фитинги	4400	4400	
8	Монтаж внутренней разводки и батарей	10000	10000	
9	Элементы ПЛЭН	---	---	29000
1	Монтаж ПЛЭН из расчета 35 грн. за 1 м ² площади под ключ	---	---	5250
	Итого:	72900	18900	34250

При традиционном отоплении такого здания затраты тепла за отопительный период:

$$Q_0 = 150 * 140 = 21000 \text{ кВт·часов (18,1 Гкал)}$$

В современном газовом котле расход газа на 1 Гкал тепла:

$$1000 / 8,09 * 0,9 = 137 \text{ м}^3$$

Для производства 18,1 Гкал тепла годовой расход газа 2470 м³. На горячую воду для ГВС обычно расходуется до 30% тепла от расхода тепла на отопление, т.е. годовой расход газа (без пищеприготовления) больше 3000 м³ и даже при существующих до 01.05.2014 г. низких ценах газа для населения – 1,08 грн./м³ его годовая стоимость для отопления:

$$Ц = 2470 * 1,08 = 2,640 \text{ тыс. грн.}$$

В Украине в настоящее время для населения, проживающего в жилых домах, оборудованных электроплитами и электроотопительными

установками при объеме потребления электроэнергии больше 250 кВт·час, установлен тариф за электроэнергию 0,2802 грн./кВт·час. При отоплении коттеджа жидкостными электродными электрообогревателями за счет высокого уровня регулирования расхода тепла его расход можно уменьшить примерно на 20%.

Тогда годовая цена такого отопления:

$$Ц = 21000 * 0,8 * 0,2802 = 4700 \text{ грн.}$$

По данным поставщика ПЛЭН необходима мощность такого электронагревателя примерно 10 – 15 Вт/м². За отопительный период 187 * 24 = 4488 часов ожидаемый расход электроэнергии при максимальной мощности ПЛЭН:

$$15,0 * 150 * 10^{-3} * 4488 = 10098 \text{ кВт·часов}$$

Стоимость этой электроэнергии:

$$Ц = 10098 * 0,2802 = 2829,5 \text{ грн.}$$

Эта цена в 1,07 раза выше, чем отопление

жидкостным электродным нагревателем.

Принятая в настоящем расчете цена газа для населения оставаться такой уже в ближайшее время не будет. Ее повысили уже с 1.05.2014 года почти в 1,5 раза. И отопление с помощью ПЛЭН стало экономически более целесообразным, тем более с гарантированным сроком эксплуатации этого отопления, который в 3 – 4 раза выше, чем ЖЭЭНО.

Для отопления от пленочных лучистых электронагревателей для дома площадью 150 м² нужна максимальная электрическая мощность 4,5 кВт (для дома с принятым выше качеством наружной оболочки)

В соответствии с введенными с 01.01.2014 г. нормами ДБН В.2.6-31 «Тепловая изоляция зданий» требуемая максим. мощность электронагревателей уменьшится до 3 кВт.

Приведенные выше расчеты выполнены в предположении одной температуры в помещениях и одинакового уровня регулирования расхода тепла.

Но при инфракрасном излучателе, расположенном под потолком, самая высокая температура в помещении будет на полу и она будет понижаться кверху (к потолку) в отличие от отопления от обычных батарей, при котором самая низкая температура в помещении на уровне пола и значительно (до 4⁰ - 5⁰С) выше под потолком.

При распределении температуры воздуха от инфракрасного излучателя для человека, находящегося в помещении, в котором температура внутреннего воздуха $t_{вн}=20^{\circ}\text{C}$, ощущение комфорта наступает при температуре воздуха на 2 ÷ 3⁰С ниже, чем при отоплении от обычного радиатора, а это приводит к дополнительной экономии тепла:

$$\Delta \text{Э} = [1 - (17,5 + 1,4) / (20 + 1,4)] = 0,117 \text{ или } 11,7\%$$

где: -1,4 – средняя температура отопительного периода для условий г. Сумы, ⁰С.

Приведенные расчеты свидетельствуют об эффективности использования пленочных инфракрасных электрообогревателей для отопления коттеджей даже в течение суток (без использования льготного тарифа). Но внедрение такого отопления зависит от наличия необходимых электрических мощностей у электроснабжающих организаций и от приемлемых, при наличии таких мощностей, технических условий, выдаваемых потребителю поставщиком электроэнергии.

Вместе с тем использование такого отопления в достаточно хорошо утепленном здании при использовании ПЛЭН позволяет повысить само качество отопления и сократить годовой расход газа на отопление от централизованного источника отопления на:

$$\Delta G_r = 18,1 * 160 = 2896 \text{ м}^3$$

где: 160 – расход газа на 1 Гкал тепла при

КПД котла 0,9 и потерях тепла в теплосетях 13%, м³.

При плотности облучения 20 Вт/м² по ф. 14 добавка к температуре, образованная лучистым потоком:

$$t_n = 20 * 0,0716 = 1,4^{\circ}\text{C}$$

Если в отапливаемом помещении температура теплоощущения 20⁰С, то с учетом добавки, образованной лучистым потоком, температура воздуха в помещении должна быть:

$$t_b = 20 - 1,4 = 18,6^{\circ}\text{C}$$

Учитывая, что обогрев в помещениях идет от пола, то комфортная для человека температура воздуха будет еще примерно на 1,5 – 1,6⁰С ниже, т.е.:

$$t_k = 18,6 - 1,6 = 17^{\circ}\text{C}$$

Только за счет этого при рассматриваемом отоплении расход тепла сокращается на:

$$\Delta Q = 1 - (17 + 1,4) / (20 + 1,4) = 14\%$$

Кроме того, инфракрасная энергия с длиной волны 9,6 мкм вызывает явление, которое называют «резонансным поглощением». При таком воздействии внешняя энергия эффективно поглощается телом и в результате повышается потенциальная энергия клеток организма, происходят благоприятные биохимические реакции. Установлено, что инфракрасное излучение с длиной 5,6 – 15 мкм легко усваивается организмом человека. Под влиянием такого излучения в клетках активизируются обменные процессы. Они поглощают большое количество кислорода, способствуют оздоровлению организма в целом. Под влиянием инфракрасного излучения с $\lambda = 5,6 - 15$ мкм может происходить подавление роста раковых клеток, уничтожение некоторых видов вируса гепатита, повышение количества вырабатываемого инсулина у больных диабетом и ряд других положительных изменений. Эффект такого воздействия инфракрасного излучения используется в инфракрасной терапии.

Выводы:

1. В помещениях, оборудованных напольным водяным панельно-лучистым отоплением, присутствует отрицательный градиент температуры внутреннего воздуха по высоте помещения, который необходимо учитывать при расчете теплотерь помещения и выборе мощности системы отопления;

2. Получены эмпирические формулы, позволяющие рассчитать зависимость распределения температуры воздуха по высоте помещения при различных теплозащитных свойствах наружных ограждающих конструкций;

3. Получена критериальная зависимость, позволяющая более надёжно рассчитывать конвективный теплообмен на поверхности пола, помещений оборудованных напольным водяным панельно-лучистым отоплением;

4. Широкое применение систем отопления производственных помещений больших разме-

ров с помощью газовых трубчатых инфракрасных нагревателей является одним из перспективных направлений энергосбережения в промышленном производстве.

5. Разработанная усовершенствованная методика рекомендуется для расчетов систем

отопления производственных помещений газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями. Она позволяет обеспечивать на практике комфортные параметры микроклимата в рабочей зоне в соответствии с требованиями ГОСТа 12.1.005-88 при минимальных энергозатратах.

Список использованной литературы:

1. Семернина А. М., Семернина С. Д., Левченко А. А., Кузьмич А. М. Энергосберегающие технологии для отопления производственных помещений. Пром. теплотехника. – 2009. – Т.26. – №3. – С.76–79.
2. Иродов В. Ф., Солод Л. В., Кобыща А. В. Математическое моделирование элементарного участка системы воздушно-лучистого отопления. Вісн. Придніпров. держ. акад. буд-ва та архітектури. – 2011. – №4. – С.41–46.
3. Алексеев Г. Ф., Дрепин В. В., Яковлева И. Г. Оценка параметров системы обогрева с «трубчатыми» линейными (трубными) нагревателями. Изв. вузов. Строительство. 2012. № 1–2. С. 79–83.
4. Шумилов Р. Н., Толстова Ю. И., Поммер А. А. Совершенствование методики расчета лучистого отопления. Материалы Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». М.: МГСУ, 2010, С. 107–112.
5. Николаев Н. А., Зиганшин Б. М. Эффективность систем инфракрасного отопления в промышленности и энергетике. Труды Академэнерго. Казань. – 2009. – №3. – С. 38–48.
6. Шиванов В. В. Обеспечение теплового режима производственных помещений системами газового инфракрасного отопления. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Нижний Новгород, 2009. – С.23.
7. Редько А. О., Болотских М. М. Пристрій для променевого опалювання. Патент України на винахід №87028, с2, F24D 10/00, F24D 15/00, F24C15/00. Державний департамент інтелектуальної власності МОН України, Бюл. №11, 10.06.2009.
8. Редько А. Ф., Ланцберг Н. Г., Болотских Н. Н. Расчет интенсивности облучения в производственных помещениях, отапливаемых темными газовыми инфракрасными нагревателями. Ж. «Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит». – 2009, №5, С. 55–64.
9. ДБН В.2.2-15-2005 Житлові будинки. Основні положення.
10. ДБН В.25-20-2001 Газопостачання.
11. ДБН В.2.6-31:2006 Теплова ізоляція будівель.
12. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія.
13. ДСТУ Б В.2.5-33:2007 Поквартирне теплопостачання житлових будинків з теплогенераторами на газовому паливі із закритою камерою згорання з колективними димоходами і димохідними системами.
14. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT).
15. ДСТУ Б EN 15316-1:2011. Системи теплозабезпечення будівель. Методика розрахунку енергопотребы та енергоефективності системи. Частина 1. Загальні положення (EN 15316-1:2007, IDT).
16. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (ССБП. Шум. Загальні вимоги безпеки).
17. ГОСТ 12.1.005-88* ССБТ. Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ССБП. Загальні санитарно – гігієнічні вимоги до повітря робочої зони).
18. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Мордухович І.І., Гольченко М.Ф., Ткаченко В.Б. ПРОМЕНЕВЕ ОПАЛЕННЯ

Описано розроблені вдосконалені трубчасті інфрачервоні нагрівачі та методика розрахунку систем опалення з їх використанням.

Ключові слова: енергозбереження, трубчасті інфрачервоні нагрівачі, інтенсивність опромінення, робоча зона.

Morduhovich I.I., Golchenko N.F., Tkachenko V.B. DIRECT HEATING

Radiation - is a carrying of heat from more heated body to less heated. At radiation thermal energy is transferred by electromagnetic waves, like transfer of heat of a solar energy to an earth surface. Application of radiant heating in comparison with traditional kinds of heating devices demands considerably smaller expenses. Heating devices at radiant heating are the radiators, placed at certain height from a floor of premises.

es, which radiate electromagnetic waves in a certain direction.

Infra-red radiation is an electromagnetic radiation in the form of the electromagnetic waves, capable to heat up subjects on which it gets.

Infra-red radiation has two important characteristics:

- *the length of the wave;*
- *intensity of radiation.*

There are two areas in the infra-red spectrum:

- *the first area with length of the wave less then 2,4 microns, which influence on an organism the negative;*
- *the second, with the length of the wave approximately from 7 to 14 microns, rendering on an organism efficiency influence.*

It is proved, that infra-red radiation submits to optics laws and has the same nature, as visible light. The system of heating by means of radiant radiators will consist of the centralised energy sources, which are the infra-red radiators and the receiver of energy which are a building elements, the equipment, established in a building and the person. The absorbed energy of the wave will be transformed to thermal energy, and heated elements of the building, the established equipment will heat up air. Thus the temperature of absorption of the heat always above air temperature indoors, because the person receives a part of energy not from contact with air, but by means of radiation.

Using of the given principle of heating provides economy of means, because there are no expenses for: heating of the heat-carrier (water) and its giving (transportation) to the consumer; necessity for building and service of eating mains disappears; expenses for service of heating systems; there are no heat losses at heating of the heat-carrier to appropriate temperature at the entry; heat and heat-carrier losses in thermal networks at its transportation; expenses on the maintenance of a boiler-house and on amortisation of a boiler-house and thermal networks.

Decreasing of the expenses through distinction in physical principles of heating:

- *the equipment, the person, instead of air is warmed;*
- *more higher temperature on distance 5-10 sm from the floor in comparison with temperature at height of 1,7 - 2 m allows to feel comfort at lower temperature at this height.*

Absence of inertia of the heating systems, - receiving of necessary temperature after start is reached approximately for 10-25 minutes. After this time for a workspace the temperature comfort is created.

Key words: *radiation, radiant heating, infra-red radiation, infra-red radiators.*

Дата надходження в редакцію: 15.10.14 р.

Рецензент: д.т.н., професор Філатов Л.Г.