

СТРОИТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

О. Е. ХАЧИКЯН

ПЯТУРՆԵ ԻՏՏԵԼՈՎՈՒՄ ԹԵՊԼՈՎՈԳ ՔԵՂԻՄԱ
ՓՈՄԵՇՈՒՄՆԻ ԲՐԻ ՓԱՆԵԼՆՈ-ԼՈՒՇԻՍՏՈՄ
ՕՒԼՁԱՋԵՄԻՆԻ

1. В 1962 г. в Ереване кафедрой отопления и вентиляции МИСИ им Куйбышева при участии автора проводились натурные исследования с целью изучения характера теплопоступлений в помещения через наружные ограждения теплового режима помещения, теплообмена между охлаждающей панелью и помещением в целом, величины коэффициента конвективного теплообмена на поверхности охлаждающей панели и целесообразности применения систем панельно-лучистого охлаждения в климатических условиях Армянской ССР.

Для проведения натуральных испытаний во втором этаже трехэтажного здания общежития Ереванского политехнического института им. К. Маркса была выделена комната размером $4 \times 4,9$ м, высотой 2,85 м, одной наружной стеной ориентированной на запад. Кладка стены из арктического туфа толщиной 0,69 м с двухсторонней штукатуркой. В наружной стене имелось окно с размером $1,75 \times 1,75$ м с двойным остеклением. На потолке исследуемой комнаты ближе к наружной стене была установлена охлаждающая панель размером $1,1 \times 1,4$ м. Панель представляла собой стальной лист с приваренным к нему змеевиком из стальных труб диаметром $1/2$ ". В качестве теплоносителя служила водопроводная вода. Развертка стен комнаты с расположением термомпар и тепломеров показана на рис. 1. На рис. 2 изображен общий вид исследуемой комнаты с охлаждающей панелью и измерительными приборами. Испытания проводились при выключенной и включенной панели. При выключенной панели определялось изменение во времени теплопоступлений в помещении и температурный режим помещения. При включенной панели комплексно исследовался теплообмен между панелью, воздухом помещения и поверхностями ограждающих конструкций. Одновременно для определения коэффициента конвективного теплообмена измерялись градиенты температур в пограничном слое у поверхности панели, при различных температурах охлаждающей воды.

В процессе исследования был установлен характер затухания температурных колебаний в толще ограждения. На рис. 3 в левой части приведены кривые суточного изменения температур в толще

амплитуда колебания температуры на внутренней поверхности наружной стены. Было также установлено, что массивность ограждения не только увеличивает показатель затухания, но и увеличивает сдвиги между фазами температур на наружной и внутренней поверхности до 22 часов. Повышенная температура наружной поверхности по срав-

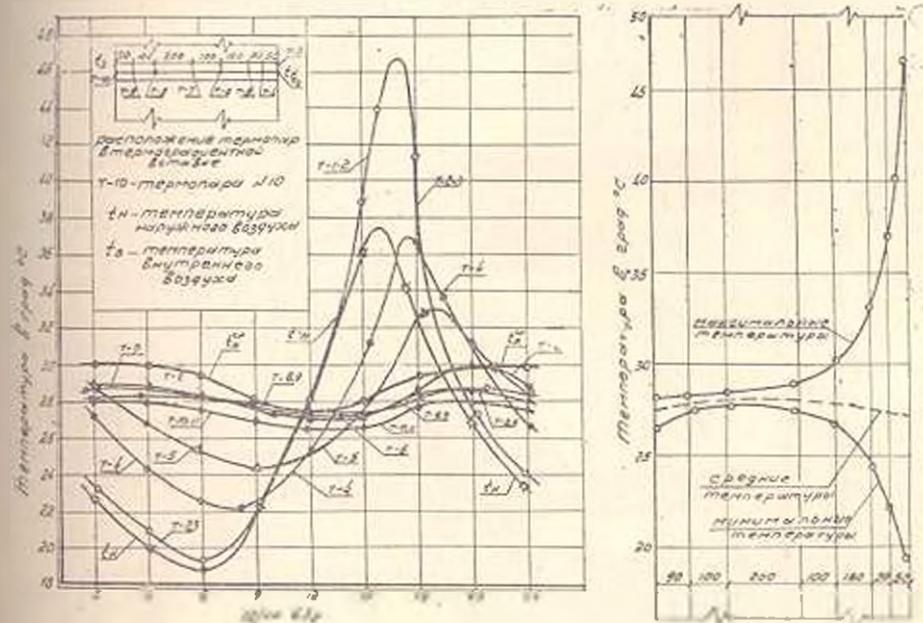


Рис. 3.

нению с температурой наружного воздуха объясняется воздействием солнечной радиации. Характер затухания температурных колебаний на глубине 30 см дает основания считать, что в условиях Армянской ССР толщина наружной стены по теплотехническим условиям может быть принята 30-35 см.

На рис. 4. показаны суточные изменения температуры в различных точках окна при охлаждении помещения. Ввиду незначительной массивности окна, сдвиг максимумов температур по времени в различных точках получается незначительным. Поэтому время максимального тепло-поступления через окно путем конвекции почти совпадает с максимальным теплопоступлением от непосредственного проникновения солнечной радиации. На рис. 5 приведены кривые, изменения интенсивности солнечной радиации на поверхности окна (кривая 1) и проникающей через окно в помещение (кривая 2). Сравнение кривых, показанных на рис. 4 и рис. 5 приводит к выводу, что максимальное теплопоступление через окно совпадает со временем максимальной интенсивности солнечной радиации и, следовательно, равно сумме максимальных теплопоступлений от проникающей радиации и конвективного теплообмена. Исследованием выявлено, что в процессе нестационарного теплообмена в помещении под действием внешних условий основная доля поступающего в помещение тепла проникает

Таблица 1

Характеристика	Панель выключена		Панель включена	
	верхний предел	нижний предел	верхний предел	нижний предел
Температура воздуха в рабочей зоне помещения (в центре помещения на высоте 1,5 м)	31,5	29,3	29,5	27,9
Средняя температура обращенных в помещение поверхностей (осреднение по площади)	29,9	28,8	29,2	27,5
Относительная влажность внутреннего воздуха	55%	50%	55%	50%

тура поверхностей понизилась примерно на 0,7—1,3°C, и это привело к увеличению теплообмена между человеком и окружающей средой путем излучения и конвекции.

2. В виду того, что все тепло, получаемое поверхностью панели конвекцией, излучением и от перекрытия в конечном счете передается охлаждающей воде, уравнение теплового баланса панели можно представить в следующем виде:

$$Q_{\text{в}}^* = Q_{\text{н}}^* + Q_{\text{п}}^* + Q_{\text{п}}^{\text{т}} \quad (1)$$

Величины, входящие в формулу (1), определяются следующими выражениями:

$$Q_{\text{н}}^* = G_{\text{вод}} \cdot C (t_{\text{вх}} - t_{\text{вос}}); \quad (2)$$

$$Q_{\text{п}}^* = \alpha_{\text{к}} F_{\text{п}} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{п}}); \quad (3)$$

$$Q_{\text{п}}^{\text{т}} = \sum_1^m \varphi_{\text{п}-i} C_{\text{спр}} b_{\text{п}-i} F_{\text{п}} (\tau_i - \tau_{\text{п}}); \quad (4)$$

где $G_{\text{вод}}$ — расход воды через панель;

$t_{\text{вос}}$; $t_{\text{вх}}$ — температура поступающей и уходящей из панели воды;

$t_{\text{в}}$ — температура воздуха, омывающего панель;

$\tau_{\text{п}}$ — средняя температура поверхности панели;

τ_i — температуры, соответствующие ограждающим конструкциям помещений;

m — количество ограждающих конструкций;

$F_{\text{п}}$ — площадь панели (14,3 м²);

$\alpha_{\text{к}}$ — коэффициент конвективного теплообмена на поверхности панели;

$\varphi_{\text{п}-i}$ — коэффициент облученности поверхности панели внутренними поверхностями ограждений;

$C_{\text{спр}}$ — приведенный коэффициент излучения;

$b_{\text{п}-i}$ — температурный коэффициент; согласно [1] с достаточной точностью можно принять

$$b_{n-1} = 0,83 + 0,005 (\tau_i + \tau_n). \quad (5)$$

При натурных исследованиях, входящие в уравнение теплового баланса количества тепла определялись следующим образом. Величина Q_2 определялась путем замера количества охлаждающей воды и ее температур при входе и выходе из панели; Q_3 определялась непосредственным измерением при помощи тепломера; Q_4 определялась путем коллективного теплообмена из формулы (3), причем для определения коэффициента коллективного теплообмена (α_k) измерялся температурный градиент, в ламинарном поделое, прилегающего к панели воздуха, так как в пределах этого поделоя тепло от окружающего воздуха передается к поверхности панели теплопроводностью.

Тепловой поток определяется закономерностью Фурье. Градиент температур измерялся при различных режимах трех характерных точек панели и по ним определяют локальные значения коэффициентов коллективного теплообмена

$$\alpha_k^d = \frac{\lambda_v \text{grad} t}{t_n - \tau_n}. \quad (6)$$

Среднее значение коэффициента коллективного теплообмена определяется усреднением его локальных значений

$$\alpha_k^{\text{cp}} = \frac{\sum_1^n \alpha_k^d}{n}. \quad (7)$$

где n — число точек, в которых определялось локальное значение коэффициента.

В результате получена следующая зависимость коэффициента коллективного теплообмена от разности температур

$$\alpha_k = 2,5 (t_n - \tau_n)^{0,25}. \quad (8)$$

Наибольшую трудность представляло определение лучистого теплопоступающего на поверхность панели по формуле (4). В этом случае должны быть определены коэффициенты облученности и средняя температура поверхности для всех ограждающих конструкций и панели. Такой расчет очень трудоемок и требует большой затраты времени.

Формулу (4) можно упростить, принимая метод, предложенный В. Н. Богословским [1], при помощи так называемого „полного“ коэффициента облученности. В этом случае все участвующие в лучистом теплообмене поверхности разделяются на две категории — холодную (панель) и нагретую (наружная стена, окно, пол). Можно считать, что солнечные лучи, проникающие через остекление полностью падают на пол и поглощаются им. В этом случае нагретой поверхностью оказывается сумма поверхностей наружных стен, окна и пола. Формула теплообмена представляется в следующем виде

$$Q_4 = \alpha_{\text{кр}} b_{n-1} F_v (\tau_{\text{ин}} - \tau_n). \quad (9)$$

где ξ — коэффициент „полной“ облученности, являющийся основным геометрическим параметром, определяющим долю лучистого потока с учетом отраженного потока.

$$\xi = \varphi_{п-ин} + \frac{\left(\frac{F_{ин}}{F_{п}} - \varphi_{п-ин}\right) \left(1 - \varphi_{п-ин}\right)}{\frac{F_{ин}}{F_{п}} - 2\varphi_{п-ин} + 1} \quad (10)$$

где $\varphi_{п-ин}$ — условный коэффициент „прямой“ облученности от панели к условно нагретым поверхностям.

Таблица 2

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Время и дата замера	
			15.00 12.VIII	18.00 12.VIII
Количество тепла, поступающего в помещение через окно и наружные стены	$Q_{тп}$	$\frac{ккал}{час}$	377	365
Количество воды, протекающей через панель	$G_{вод}$	$\frac{кг}{час}$	145	125
Температура воды, уходящей из панели	$t_{уа}$	$^{\circ}C$	18,0	19,4
Температура воды, поступающей в панель	$t_{пос}$	$^{\circ}C$	15,1	16,2
Количество тепла, переданное воде	$Q_{в}$	$\frac{ккал}{час}$	420	400
Средняя температура поверхности панели	$t_{п}$	$^{\circ}C$	21,3	23,5
Температура потока воздуха, омывающего панель	$t_{в}$	$^{\circ}C$	29,5	31,3
Коэффициент конвективной теплоотдачи	$\alpha_{к}$	$\frac{ккал}{м^2 \cdot час \cdot ^{\circ}C}$	5,07	5,0
Количество тепла, передаваемое конвекцией	$Q_{к}$	$\frac{ккал}{час}$	178	168
Температура поверхности наружной стены	$t_{ис}$	$^{\circ}C$	28,4	29,2
Температура поверхности окна	$t_{ок}$	$^{\circ}C$	34,5	39,5
Температура поверхности внутренних стен ВС—I; ВС—II; ВС—III	$t_{вс}$	.	28,4	29,2
Температура поверхности пола с учетом подложки на нее проникающей радиацией	$t_{пол}$	.	29,0	31,0
Количество лучистого тепла, получаемое панелью Рассчитаны по формуле (4)	$Q_{л}^I$	$\frac{ккал}{час}$	155,0	150
Количество лучистого потока, получаемое панелью. Рас. по ф. (9)	$Q_{л}^II$	.	165,0	161
Количество тепла, получаемое от потолка путем теплопроводности (тепломер)	$Q_{т}$	.	30	22
Общее кол. тепла с учетом ф. (4) . . . . .	.	.	363	340
Общее кол. тепла с учетом ф. (9) . . . . .	.	.	373	351
Процент невязки баланса относительно $Q_{л}^II$	$\alpha_{н}$	$\%$	13,3	15,0
Процент невязки баланса относительно $Q_{л}^I$	$\alpha_{н}$	$\%$	11,0	12,2

В данном случае, с учетом нагретой поверхности помещения

$$\varphi_{n-ин} = \varphi_{n-вс} + \varphi_{n-ок} + \varphi_{n-пол}.$$

где $F_{ин}$ — суммарная площадь нагретой поверхности;

$\tau_{ин}$ — средняя температура нагретой поверхности, которую можно определить по среднему лучистому потоку.

Здесь

$$\tau_{ин} = \frac{\sum_1^m \varphi_{n-l} \tau_l}{\sum_1^m \varphi_{n-l}}. \quad (11)$$

Уравнение теплового баланса панели с учетом упрощенной формулы лучистого теплообмена [1] будет иметь следующий вид

$$Q_n^* = \alpha_n F_n (t_n - \tau_n) + C_{нпр} b_{n-ин} F_n (\tau_{ин} - \tau_n) + Q_n^*. \quad (12)$$

Для сопоставления расчеты производились как по точной формуле (4), так и по формуле (9). С этой целью определялись коэффициенты облученности панели поверхностями ограждающих конструкций помещения: $\varphi_{n-вс} = 0,253$; $\varphi_{n-ок} = 0,115$; $\varphi_{n-(вс-I)} = 0,154$; $\varphi_{n-(вс-II)} = 0,154$; $\varphi_{n-(вс-III)} = 0,040$; $\varphi_{n-пол} = 0,290$ и по ним для некоторых моментов времени (15-00—18-00) рассчитывался теплообмен панели с помещением. Результаты расчета приведены в табл. 2.

Сравнение величин, полученных по формулам (4) и (9) показывает, что точность упрощенной формулы (9) вполне достаточна для инженерных расчетов.

В ы в о д ы

1. Теплопоступление в помещение в основном происходит через остекленные наружные ограждения (окно, витрина). Радикальным мероприятием для уменьшения теплопоступлений является применение солнцезащитных устройств.

2. При расчете теплообмена взамен формулы (4) можно пользоваться упрощенной формулой (9) с учетом полного коэффициента облученности.

3. Величину коэффициента конвективного теплообмена на холодной горизонтальной поверхности, расположенной на потолке в части, примыкающей к наружной стене, можно определить по формуле (8).

4. Система панельно-лучистого охлаждения в помещении эффективна для создания комфортных микроклиматических условий и может широко использоваться в климатических условиях Армянской ССР. Система охлаждения должна работать лишь в наиболее жаркие часы суток (при максимальном теплопоступлении в помещении). В

ночное время охлаждение можно создать при помощи сквозных проветриваний, так как температура наружного воздуха в это время снижается.

Ереванский политехнический институт
им. Карла Маркса

Поступило 1.IV 1965

Ս. Ե. ԿԱԶՐԿՅԱՆ

**ՊԱՆԵԼԼԱ-ՃԱՌԱՎՈՅԹՈՒՅԻՆ ՄԻՍՏԵՄՈՎ ՀՈՎԱՅՎՈՎ ԲՆԱԿԱՐԱՆՆԵՐԻ
ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Ս. մ փ ո ւ ր ո ս ւ մ

Հողփածուս բացահայտված է արտաքին միջավայրերից կոնստրուկցիաների միջոցով դեպի բնակարան ջերմային էներգիայի փոխանցման բնույթը: Բերված են դրաֆիկներ (նկ. 3, 4), որտեղ պատկերված են արտաքին պատի և պատահանի կտրվածքի պարբեր կետերում ջերմաստիճանի փոփոխման բնույթը՝ օրվա ընթացքում: Հովացնող պանելի փորձարկման ավյուղների մշակման ժամանակ րա բանաձև է ստացվել (Տ), որի միջոցով պակասացած ջերմաստիճանային տարբերության (սենյակի օդի և պանելի մակերևույթի) դեպքում կարելի է որոշել առաստաղային հովացնող պանելի կոնվեկտիվ ջերմափոխանցման օրժակիցը: Հովացնող պանելի և բնակարանը շրջափակող կոնստրուկցիաների միջև ճառագայթային ջերմափոխանակության հաշվման համար առաջարկված է պարզ բանաձև (Զ), որի ճշտությունը միանգամայն խոչնդարելի է ինժեներատեխնիկական հաշվարկումներում: Հետազոտությունը ցույց է տալիս, որ Հայաստանի կլիմայական պայմաններում պանելա-ճառագայթային հովացման սխեման էֆեկտիվ է համարվում և նա կարող է լայն կիրառում գտնել տարբեր բնույթի բնակարաններում ամռանը նորմալ միկրոկլիմա ստեղծելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Богословский В. Н. „Методика расчета панельно-лучистого охлаждения в помещении“. Вып. 48, тр. МИСИ им. В. В. Куйбышева, 1964.
2. Колпаков Г. В. „Улучшение микроклимата в условиях летнего перегрева“. Госстройиздат, 1962.
3. Отчет по научно-исследовательской работе „Панельнолучистое охлаждение помещений“, кафедра Отопления и вентиляции. Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева, 1963.