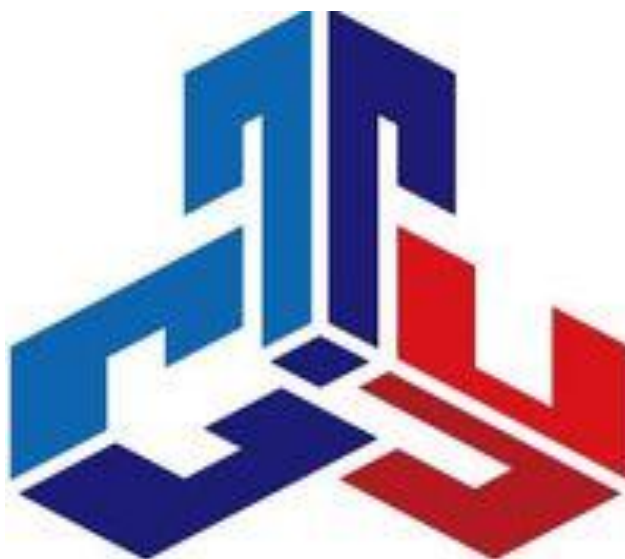


**СОВРЕМЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ

Рязань  
2021

УДК 72  
ББК 38.4  
А51

Архитектурная физика: Методические указания к выполнению лабораторных работ/ сост. Бурмина Е.Н., Суворова Н.А., Викулов А.Ф.

Современный технический университет. – Рязань, 2021. – 45с.

Электронное издание.

Рецензент: к.х.н., доц., нач. ПТО ООО «Экотранс» Никандров Г.А.

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ для  
студентов-бакалавров

*Издается по решению Ученого Совета  
Современного технического университета.*

УДК 72  
ББК 38.4  
А51

© Е.Н. Бурмина, Н.А. Суворова, А.Ф. Викулов  
© Современный технический университет, 2021

**Лабораторная работа № 1**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА  
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ**

### ***1.1. Цель работы***

Изучить принципы нормирования, методику проведения контроля и гигиенической оценки параметров микроклимата производственного помещения.

### ***1.2. Теоретические сведения***

Микроклимат помещения – это сочетание метеорологических факторов, определяющих работоспособность человека в процессе труда.

Метеорологические характеристики производственного помещения определяются следующими параметрами: температурой воздуха, его относительной влажностью, скоростью движения, а также интенсивностью теплового излучения рабочих и ограждающих поверхностей.

Между телом человека и окружающей средой постоянно происходит теплообмен. Несмотря на колебания температур наружного воздуха, температура тела человека поддерживается на относительно постоянном уровне (36,5 ... 37°C) за счет терморегуляции организма. Однако длительное, значительное нарушение параметров микроклимата может привести к негативным последствиям. Так, воздействие высоких температур приводит к перегреванию организма, низких – к переохлаждению, возникновению простудных заболеваний. Особенно эти процессы усиливаются при повышенной влажности и скорости движения воздуха. Поэтому в рабочей зоне производственного помещения должны обеспечиваться параметры микроклимата, соответствующие оптимальным и допустимым значениям согласно СанПиН 9-80 РБ 98 (табл.1 прил.1).

Терморегуляцией человеческого организма называется совокупность процессов, протекающих в организме, обеспечивающих поддержание постоянной температуры тела при изменении метеорологических параметров помещения.

Человеческий организм, имея более высокую температуру в сравнении с наружным воздухом, отдает часть тепла окружающей среде. Количество вырабатываемого организмом тепла определяется интенсивностью труда и протекавшими в нем биохимическими процессами.

Количество тепла  $Q$ , отдаваемого организмом в окружающую среду, складывается из потерь за счет теплового излучения с открытых поверхностей тела

З (имеющих температуру ~33,5 °С)  $Q_{изл}$ , конвективного теплообмена за счет

СМЫ-  
вания воздухом наружных поверхностей тела  $Q_k$ , теплопроводности через одежду  $Q_{тп}$ , испарения пота  $Q_{ип}$ , передачи части тепла вдыхаемому воздуху  $Q_v$ :

$$Q = Q_{излк} + Q_k + Q_{тп} + Q_{ип} + Q_v, \text{ ккал/ч}$$

Оптимальные микроклиматические условия – это наиболее благоприятные значения параметров микроклимата, обеспечивающие человеку ощущение тепло-вого комфорта, т.е. нормального теплового состояния организма без нарушения ре-акций терморегуляции, создающие предпосылки для высокой трудоспособности. Допустимые вызывают некоторое, в пределах физиологических приспособитель-ных возможностей человека, напряжение реакций терморегуляции (дискомфорт-ные тепловые ощущения), которые несколько снижают работоспособность, ухуд-шают самочувствие, но не наносят ущерба здоровью.

Оптимальные показатели микроклимата определяются для всей рабочей зоны, допустимые – дифференцированно для постоянных и непостоянных рабочих мест.

Постоянным считается рабочее место, на котором работающий находится бо-лее 50% рабочего времени за смену или более 2-х часов непрерывно.

Рабочей зоной называется пространство до 2-х метров по высоте от уровня пола или площадки с местами постоянного или временного пребывания работаю-щих.

Допустимые параметры микроклимата разрешается принимать только в тех случаях, когда по техническим требованиям, технологическим и экономическим причинам не обеспечиваются оптимальные нормы.

Оптимальные и допустимые значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха (см. табл.1 прил.1) установлены для рабочей зоны производственных помещений с учетом сезона (периода) года и тяжести выпол-няемых работ.

Холодным считается период года со среднесуточной температурой наружного воздуха +10°С и ниже; теплым – выше +10°С.

На основе общих энергозатрат организма в процессе труда выполняемые – ра-боты по степени тяжести подразделены на категории:

- легкие физические работы 1а – работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением, с энергозатратами до 139Вт;
- легкие физические работы 1б – работы, производите сидя, стоя или связанные с ходьбой и некоторым физическим напряжением, с энергозатратами 140-174 Вт;
- физические работа средней тяжести 2а – работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением тяжестей весом до 1 кг в положении стой или сидя, с энергозатратами 175-232 Вт;
- физические работы средней тяжести 2б – работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей весом до 10 кг, с энергозатратами 233-290 Вт;
- тяжелые физические работы 3 – работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических напряжений, с энергозатратами более 290 Вт.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов и др. источников тепла (в соответствии с требованиями СанПиН 9-80 РБ 98) не должна превышать 35 Вт/м кв при облучении 50% поверхности тела, 70 Вт/м кв – при облучении от 25 до 50% поверхности тела и 100 Вт/м кв – при облучении не более 25% поверхности тела.

При наличии теплового облучения температура воздуха в производственном помещении в теплый период года должна составлять (см. табл.1 прил.1):

- на постоянных рабочих местах – не более верхней границы оптимальных значений;
- на непостоянных рабочих местах – не более верхней границы допустимых значений, взятых по графе «постоянные рабочие места».

В целях профилактики тепловых травм температура наружных поверхностей технологического оборудования и трубопроводов не должна превышать 45 °С.

Формирование микроклимата в помещении происходит за счет поступления тепла от теплоисточников и потери части его в окружающее пространство.

Источниками тепла в помещении могут являться: система отопления, тепловыделяющее (теплоизлучающее) оборудование, радиоэлектронная аппаратура, солнечная энергия, система освещения, люди и т.д.

Потери тепла происходят частично через строительные конструкции, стены, окна, перекрытия, часть тепла расходуется на нагрев воздуха поступающего в помещение в более холодном состоянии через неплотности окон, двери, открывающиеся форточки, из системы вентиляции, на нагрев поступающих из подсобных помещений в более холодном состоянии материалов, выравнивание температуры въезжающих в цех транспортных средств и т.д.

Количество тепла, поступающего в помещение с учетом теплотерь, называется теплоизбытками:

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{пост}} - Q_{\text{потерь}}, \text{ ккал/ч,}$$

где  $Q_{\text{пост}}$  – количество поступающего в помещение тепла, ккал/ч;

$Q_{\text{потерь}}$  – теплотери помещения, ккал/ч.

В установившемся режиме в помещении соблюдается тепловой баланс.

Кратность воздухообмена в помещении рассчитывается по формуле:

$$K = L / U, \text{ ч}^{-1},$$

где  $L$  – количество воздуха, подаваемого в помещение системой вентиляции, м<sup>3</sup>/ч;

$U$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Средствами и способами нормализации микроклимата являются:

- система отопления;
- кондиционирование воздуха;
- вентиляция;
- инсоляция помещений путем архитектурнопланировочных решений, солнцезащитным зашториванием окон и др. способами;
- теплоизоляция нагретых поверхностей;
- воздушное душирование на рабочих местах;
- создание воздушных завес у открывающихся ворот и дверей;

- подогрев (увлажнение воздуха) в системах вентиляции и кондиционирования и др.

### ***1.3. Контроль и гигиеническая оценка параметров микроклимата производственного помещения.***

Для измерения относительной влажности воздуха служат психрометры: стационарный психрометр Августа и аспирационный психрометр Ассмана; для измерения во времени – гигрограф с недельным или суточным заводом.

Стационарный психрометр Августа состоит из двух спиртовых термометров, один из которых сухой, другой – «влажный». Резервуар увлажняемого термометра обернут гигроскопичной тканью (батистом) и связан со стаканчиком, заполненным дистиллированной водой. Сухой термометр показывает температуру окружающего воздуха, а влажный более низкую температуру, определяемую скоростью испарения воды с увлажненного батиста. По величине разности температур сухого и влажного термометров определяют относительную влажность воздуха в помещении, пользуясь психрометрической табл.2 прил. 1.

На практике для измерения относительной влажности воздуха чаще используют аспирационный психрометр Ассмана (рис. 1. прил. 1), который имеет меньшую погрешность измерений и, следовательно, позволяет получить более точные данные. Он состоит из двух ртутных термометров – сухого и влажного, каждый из которых заключен в металлическую оправу, что исключает влияние на показания прибора тепловых излучений. Кроме того, исключается влияние внешних перемещений воздуха. В отличие от стационарного психрометра Августа в аспирационном психрометре Ассмана воздух протягивается через каналы с одинаковой скоростью с помощью вентилятора, находящегося в аспирационной головке в верхней части прибора. Вентилятор приводится в движение с помощью пружины или от встроенного в головку электродвигателя, включаемого в электрическую сеть с помощью вилки.

Гигрограф осуществляет запись измерений относительной влажности воздуха на диаграммной ленте, накладываемой на барабан, приводимый в движение ча-



совым механизмом. Термограф – прибор с близким по сущности принципом действия, который позволяет осуществлять запись на диаграммной ленте температуры воздуха в помещении, ее изменений в течение суток или недели.

Для измерения скорости движения воздуха используется крыльчатый и чашечный анемометры, электротермоанемометр, кататермометр.

– Крыльчатый анемометр служит для измерения скорости движения воздуха внутри помещений. Пределы его измерений 0,2-5 м/с.

– Чашечный имеет пределы измерений 1-35 м/с и используется для измерения скорости воздуха вне помещений, в системах вентиляции к т.д.

Электротермоанемометр и кататермометр предназначены для измерения малых скоростей движения воздуха (до 0,5 м/с).

Для измерения интенсивности теплового излучения используется актинометр.

Гигиеническая оценка параметров микроклимата производится путем сравнения фактических (измеренных) значений его параметров с оптимальными (допустимыми) согласно табл. 1 прил. 1.

Порядок работы с приборами приведен в прил. 1.

#### ***1.4. Последовательность выполнения работы***

1. Выполнить гигиеническую оценку параметров микроклимата в камере без использования средств нормализации, для чего измерить температуру и относительную влажность воздуха и сравнить их с допустимыми (оптимальными) значениями для данного периода года (для работ средней тяжести 2а).

2. Исследовать эффективность средств нормализации микроклимата (вентиляции, кондиционирования), для чего измерить и оценить параметры микроклимата (скорость движения, температуру, относительную влажность воздуха) через 15 и 30 мин от начала включения средств нормализации.

3. Считая скорость воздуха постоянной в сечении камеры и определив площадь поперечного сечения камеры путем измерения ее внешних размеров, рассчитать

кратность воздухообмена, необходимую для обеспечения допустимых (оптимальных) параметров микроклимата для условий указанных в п.1.

Таблица 1.1

Таблица опытных данных

№ п/п	Наименование параметров метеоусловий	Фактические показания приборов	Нормативные величины по СанПиН 9-80 РБ 98 для данной категории работ и сезона года.	
			Оптимальные	Допустимые
1	Температура воздуха °С			
2	Относительная влажность воздуха %			
3	Скорость движения воздуха, м/с			

### ***1.5. Содержание отчета***

1. Цель работы.
2. Таблица опытных данных (табл.1.1)
3. Выводы.

### ***1.6. Контрольные вопросы***

1. Дайте определение понятия микроклимата.
2. Как происходит формирование микроклимата помещения? Назовите источники тепла, из каких составляющих складываются теплопотери ?
3. Поясните, в чем заключается принцип нормирования микроклимата.
4. В чем заключается гигиеническая оценка воздушной среды производственного помещения?
5. Как классифицируются виды работ по степени тяжести?
6. Как происходит теплоотдача человеческого организма, из каких составляющих складываются потери тепла?
7. Какова допустимая интенсивность теплового облучения для организма человека?
8. При какой температуре нагрева стенок оборудования и трубопроводов необходима их теплоизоляция?
9. Какими приборами осуществляется контроль параметров микроклимата?
10. Назовите основные способы и средства нормализации микроклимата помещения?

### **Литература**

- СанПиН 9-80 РБ 98. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
- Павлов С.П., Губонина З.И. Охрана труда в приборостроении. – М.: Высш. школа, 1986.

Порядок работы с психрометром Ассмана

1. С помощью пипетки смочить батист на «влажном» термометре, для чего извлечь психрометр из гнезда. Держа прибор вертикально головкой вверх, осторожно ввести пипетку в обечайку и, нажимая на грушу, довести уровень воды в пипетке до верхнего края или на 0,5-1 см ниже его. Дать батисту напитать влагу.
2. Завести ключом пружину в аспирационной головке (включить в сеть вентилятор).
3. Через 4-5 минут снять показания сухого и влажного термометров.
4. По психрометрической табл. 2 прил. 1 определить относительную влажность воздуха.

Порядок работы с чашечным (крыльчатый) анемометром

1. Определить число делений  $n$ , отсчитываемых индикатором за время 50-100с.
2. Найти число делений, отсчитываемых индикатором за 1 с.  $c = n/f$ , дел/с.
3. Найти скорость движения воздуха с помощью тарировочного графика  $c = f(V)$  – рис. 2.

Нормируемые величины температуры, относительно влажности и скорости движения воздуха  
в рабочей зоне производственных помещений

Период работ	Категория работ	Температура, °С				Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с		
		Оптимальная, воздуха	Допустимая		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая		
			Диапазон ниже оптимальных величин, воздуха	Диапазон выше оптимальных величин, воздуха				Поверхностей	диапазона темп. возд. ниже оптимальных величин, не более	диапазона темп. возд. выше оптимальных величин, не более
Холодный период года	Легкая – 1а	22-24	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	60-40	15-75	0,1	0,1	0,1
	Легкая – 1б	21-23	23,1-24,0	19,0-20,9	18,0-25,0	60-40	15-75	0,1	0,1	0,2
	Средней тяжести – 2а	19-21	21,1-23,0	17,0-18,9	16,0-24,0	60-40	15-75	0,2	0,1	0,4
	Средней тяжести – 2б	17-19	19,1-22,0	15,0-16,9	14,0-23,0	60-40	15-75	0,2	0,2	0,3
	Тяжелая – 3	16-18	18,1-21,0	13,0-15,9	12,0-22,0	60-40	15-75	0,3	0,2	0,4
Теплый период	Легкая – 1а	23-25	21,0-22,0	25,1-28,0	20,0-29,0	60-40	15-75	0,1	0,1	0,2
	Легкая – 1б	22-24	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	60-40	15-75	0,1	0,1	0,3
	Средней тяжести – 2а	20-22	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	60-40	15-75	0,2	0,1	0,4
	Средней тяжести – 2б	19-21	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	60-40	15-75	0,2	0,2	0,5
	Тяжелая – 3	18-20	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	60-40	15-75	0,3	0,2	0,5

Психрометрическая таблица дал определения относительной влажности воздуха

Показания влажного термомет- ра, t °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, t °C																			
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5
10	87	82	76	71	66	61	57	53	48	45	41	38	32	29	27	24	21	18	17	
11	88	82	77	72	67	62	58	55	50	47	43	40	34	31	28	26	23	21	19	
12	88	82	78	68	63	59	56	53	48	44	42	36	33	30	28	28	25	23	20	
13	88	84	78	73	68	63	59	57	53	50	46	43	38	35	32	30	27	25	22	21
14	89	83	79	74	70	66	62	58	54	51	47	45	40	37	34	32	29	27	24	23
15	89	84	80	75	71	67	63	59	55	52	49	46	41	39	36	34	31	29	26	25
16	90	84	80	75	72	67	64	60	57	53	50	48	43	41	37	35	33	31	28	27
17	90	84	81	76	73	68	65	61	58	54	52	49	44	42	39	37	34	32	30	28
18	90	85	81	76	74	69	66	62	59	56	53	50	46	44	40	39	36	34	31	30
19	91	85	83	77	74	70	66	63	60	57	54	51	47	45	42	40	37	35	33	31
20	91	86	82	78	75	71	67	64	61	58	55	53	48	46	43	41	39	37	34	33
21	91	86	83	79	75	71	68	65	62	59	56	54	49	48	44	43	40	38	36	34
22	91	87	83	79	76	72	69	65	63	60	57	55	51	49	46	44	41	39	37	36
23	91	87	83	80	76	72	69	66	63	63	61	59	59	52	50	47	45	42	40	38
24	92	88	84	80	77	73	70	67	64	62	59	56	53	51	48	46	43	41	39	38
25	92	88	84	81	77	74	70	68	65	63	59	58	53	52	49	47	44	40	39	38
26	92	88	85	81	78	75	72	69	66	63	61	58	54	52	50	47	45	44	42	40
27	92	89	82	78	75	72	68	67	64	61	59	58	56	53	51	49	47	45	43?	41
28	92	89	85	82	79	76	73	70	67	65	62	60	56	54	52	50	48	46	44	42
29	93	89	82	79	76	73	70	68	65	63	60	58	57	55	53	51	49	47	45	42
30	93	89	86	83	79	76	74	71	68	65	63	61	58	55	54	52	50	48	46	44

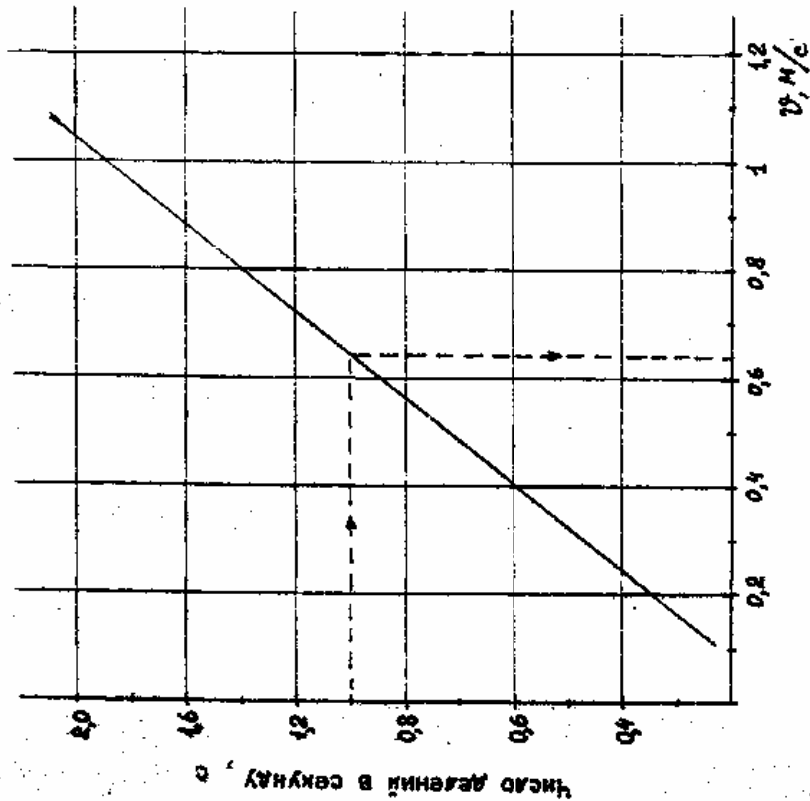


Рис. 2 П.1. График для определения скорости движения воздуха  $V$  (м/с) по крыльчатому анемометру

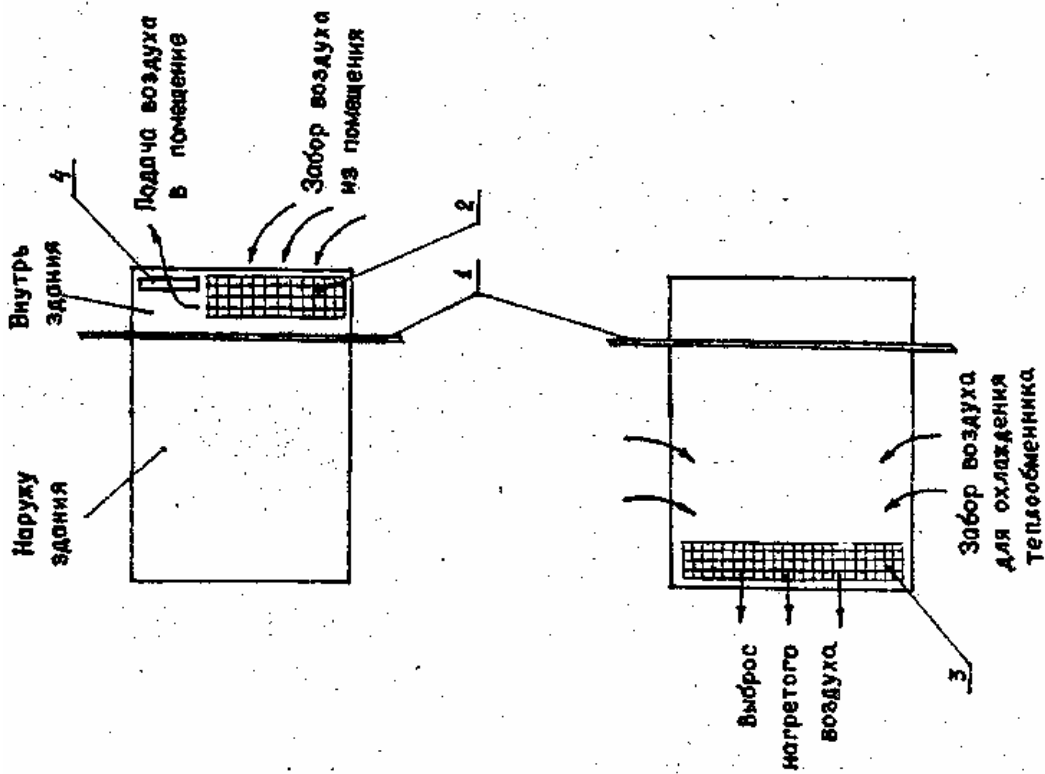


Рис. 3 П.1. Схема работы кондиционера:

1 - оконное остекление; 2 - холодильник;

3 - компенсирующий теплообменник; 4 - фильтр

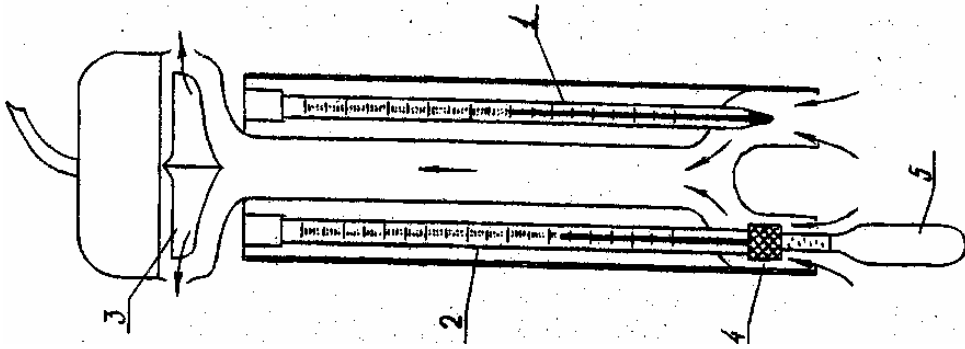


Рис.1 п 1.Схема увлажнения  
багиста аспирационного  
психрометра:

- 1-сухой термометр;
- 2-влажный термометр;
- 3-система протяжки воздуха;
- 4-багист;
- 5-пипетка для увлажнения багиста

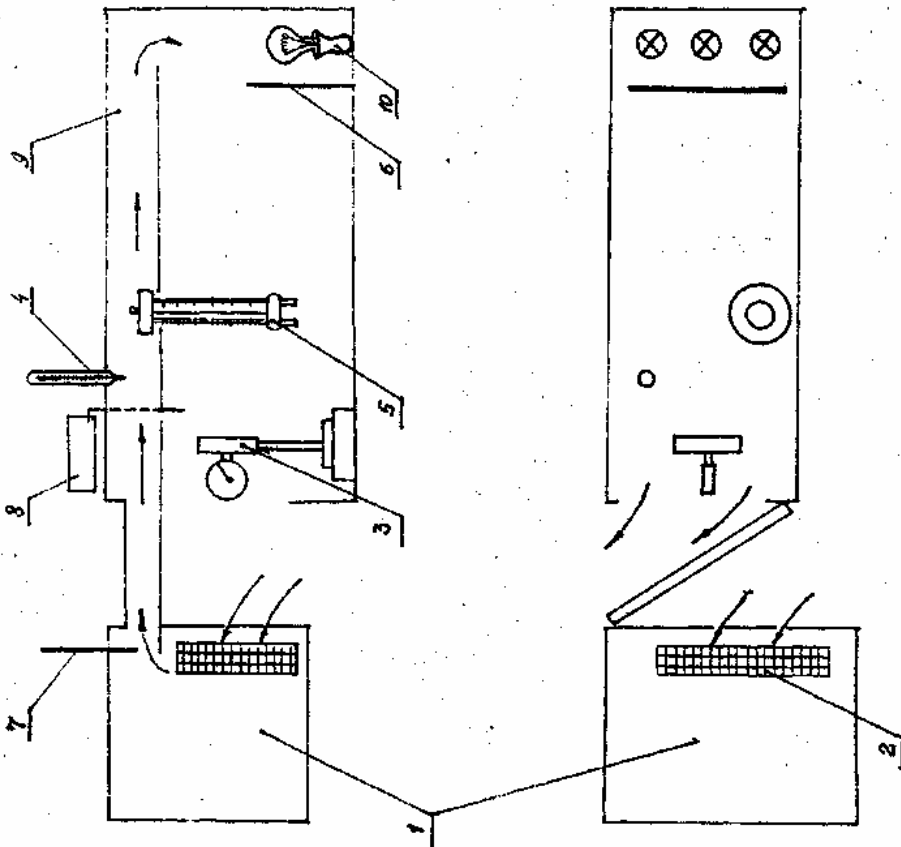


Рис. 4 П.1. Схема экспериментального стенда:

- 1 - кондиционер; 2 - холодильный кондиционер;
- 3 - анемометр; 4 - термометр; 5 - психрометр;
- 6 - экран; 7 - заслонка; 8 - электронный термометр; 9 - приточный воздуховод; 10 - источник тепла



**Лабораторная работа № 2**

**НОРМИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ  
В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ**

**Цель работы:** ознакомиться с общими характеристиками естественного и искусственного освещения, нормируемыми показателями освещения, приборами, используемыми для оценки освещенности; научиться определять эффективность освещенности рабочих мест, оценивать пригодность помещения для выполнения работ заданной точности.

**Приборы и оборудование:** люксметр Ю-116.

## 1. Общие положения

Свет обеспечивает связь организма с внешней средой, обладает высоким биологическим и тонизирующим действием.

Одним из важнейших элементов, благоприятных для условий труда, является рациональное освещение помещений и рабочих мест.

Правильно спроектированное и выполненное освещение производственного помещения улучшает условия зрительной работы, снижает утомление, способствует повышению производительности труда и качества выпускаемой продукции, благоприятно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на работающего, повышает безопасность труда и снижает травматизм на производстве.

Лучистая энергия солнца оказывает непосредственное влияние и на организм человека. Воспринимаемые глазом видимые солнечные лучи влияют на состояние центральной нервной системы, повышая активность больших полушарий. Свет улучшает общее состояние человека, повышает жизненный тонус. Действуя рефлекторно через нервные окончания в коже (рецепторы), свет оказывает воздействие на осуществление фотохимических процессов в организме, ритм жизненного тонуса, функцию сердечно-сосудистой системы и т. д.

Свет является активным регулятором основных биологических процессов. Он постоянно влияет на такие жизненно важные функции, как обмен веществ, рост и развитие организма, повышает иммунитет человека.

Рациональное освещение производственных и вспомогательных помещений, проходов и проездов имеет большое значение для нормальной и безопасной работы промышленного предприятия. Для безопасности работы нужно не только достаточное освещение рабочих поверхностей, но и рациональное направление света, отсутствие резких теней и бликов, обычно вызывающих слепящее действие и снижающих работоспособность.

Способность глаз приспосабливаться к различной яркости света называется **адаптацией**. Частая переадаптация глаз снижает производительность труда и способствует увеличению травматизма. Адаптация устраняется, если в производственном помещении создается равномерное освещение.

Недостаточное освещение само по себе не вызывает несчастных случаев, но может способствовать их возникновению. Например, недостаточное или неправильное освещение вынуждает рабочего ближе наклоняться к обрабатываемому предмету, что увеличивает опасность повреждения лица и глаз. Недостаточная освещенность, резкие тени, наличие в поле зрения рабочего источника света большой яркости мешают различать движущиеся части станков, агрегатов и способствуют возникновению травматизма.

В пожароопасных и взрывоопасных помещениях, помимо рационального освещения, требуется еще герметическая или взрывобезопасная арматура осветительных приборов.

Прямое влияние на безопасность труда оказывает аварийное освещение, обеспечивающее безопасную работу или спокойный выход рабочих из помещения в случае прекращения подачи электроэнергии, а также местное освещение контрольно-измерительных приборов, световые сигналы, установленные на машинах и механизмах, автоматических производственных линиях и др.

Освещение может создаваться как лучистой энергией, исходящей от тел, так и при помощи люминесценции.

Электромагнитное излучение с длиной волны в пределах  $\lambda = 380\text{--}770$  нм, воздействуя на глаза человека, вызывает ощущение света. Эта часть спектра называется *областью видимых излучений*, а соответствующая ей часть лучистой энергии – *световой энергией*. Следует подчеркнуть, что световая энергия определяется именно вызываемым ею зрительным ощущением.

Каждому излучению с определенной длиной волны соответствует определенный цвет. Как показали исследования, при одинаковой интенсивности различных монохроматических излучений наибольшее зрительное восприятие создают желто-зеленые лучи с длиной волны 555 нм. Если принять за единицу чувствительность глаз к лучам с длиной волны 555 нм, то зависимость зрительного восприятия от волн разной длины можно представить кривой, приведенной на рис. 2.1.

Излучение с длиной волны 10–380 нм является *ультрафиолетовым*, а с длиной волны 770–340 000 нм – *инфракрасным*.

Для гигиенической оценки освещенности используются светотехнические качественные и количественные показатели.

К *количественным показателям* относятся световой поток, освещенность, коэффициент отражения, сила света и яркость. К *качественным показателям* следует отнести фон, видимость, контраст.

Видимая лучистая энергия оценивается по световому ощущению и называется *световым потоком*, который измеряется в люменах (лм).

**Световой поток  $F$**  – мощность лучистой энергии, оцениваемая световым ощущением человеческого глаза. Световой поток определяется как величина не только физическая, но и физиологическая, так как измерение ее основано на зрительном восприятии. Точное значение светового потока в лм определяется по эталонным электрическим лампам накаливания, выверенным в соответствии с международным соглашением. Таким образом, единица светового потока – *люмен* – принята совершенно условно. Между условной единицей светового потока – лю-

меном и энергетической – ваттом имеется следующее соотношение:  $1 \text{ лм} = 0,001 \text{ 61 Вт}$ . Все источники света, в том числе осветительные приборы, излучают световой поток в пространство неравномерно. Распределение светового потока в пространстве учитывают, пользуясь понятием пространственной плотности светового потока или силы света.



Рис. 2.1. Зависимость зрительного восприятия от длины волны

**Сила света ( $I$ )** – это величина пространственной плотности светового потока, которая определяется как отношение светового потока  $dF$ , исходящего от источника и распространяющегося равномерно внутри элементарного телесного угла  $d\omega$ , к величине этого угла:

$$I = \frac{dF}{d\omega}. \quad (2.1)$$

За единицу силы света принята *кандела* (кд). Сила света в одну канделу обеспечивается световым потоком в один люмен, заключенным в единичном угле в один стерадиан.

Об освещении помещения можно до некоторой степени судить по величине **освещенности  $E$** , которая определяется поверхностной плотностью светового потока или отношением светового потока  $dF$ , подающего на поверхность, к величине этой поверхности  $dS$ , т. е.

$$E = \frac{dF}{dS}. \quad (2.2)$$

За единицу освещенности принят *люкс* (лк). Люкс – это освещенность по-

верхности площадью  $1 \text{ м}^2$  при световом потоке падающего на него излучения, равном  $1 \text{ лм}$ .

Освещенность в разных точках рабочего места различна, поэтому отношение  $F / S$  принимают за среднюю освещенность.

Условия видимости определяются отношением силы света, излучаемого светящейся поверхностью в направлении зрения, к величине видимой части этой светящейся поверхности. Это отношение называется *яркостью* и измеряется в канделах на метр квадратный ( $\text{кд}/\text{м}^2$ ).

За **яркость**  $L$  светящейся поверхности в каком-либо направлении принимается отношение силы света, испускаемого поверхностью в заданном направлении  $I$ , к проекции светящейся поверхности  $S \cdot \cos\alpha$  на плоскость, перпендикулярную к тому же направлению, т. е.

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos\alpha}, \quad (2.3)$$

где  $\alpha$  – угол, образованный направлением светового потока с нормалью к площадке светящейся поверхности.

За величину яркости принят *нит* (нт), который имеет размерность  $1 \text{ кд}/\text{м}^2$ . Яркость поверхности зависит от силы света, угла падения светового потока на плоскость, цвета поверхности и т. д.

Различные предметы видимы потому, что световой поток, отраженный ими, частично воспринимается глазом. Отношение отраженного светового потока  $F_{\text{отр}}$  к падающему световому потоку  $F_{\text{пад}}$  называется **коэффициентом отражения**  $Q$ :

$$Q = \frac{F_{\text{отр}}}{F_{\text{пад}}}. \quad (2.4)$$

Величина  $Q$  в зависимости от цвета поверхности колеблется в пределах  $0,02-0,85$ .

**Объект различения** – наименьший размер рассматриваемого предмета, отдельной его части, который необходимо различать в процессе работы. В зависимости от наименьшего размера объекта различения зрительные работы подразделяются на разряды.

**Контраст объекта различения с фоном**  $K$  характеризуется как процентное отношение абсолютной величины разности между яркостью объекта различения  $L_o$  и фона  $L_\phi$  к яркости фона  $L_\phi$ :

$$K = \frac{L_o - L_\phi}{L_\phi}. \quad (2.5)$$

Контраст оценивается как малый, если  $K$  до  $0,2$  (объект и фон мало отличаются по яркости); средний –  $K = 0,2-0,5$  (объект и фон заметно отличаются по яркости) и большой –  $K$  свыше  $0,5$  (объект и фон резко отличаются по яркости).

**Фон** – поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Фон считается светлым при коэффициенте от-

ражения поверхности  $Q$  более 0,4; средним – при  $Q = 0,2-0,4$ ; темным –  $Q$  менее 0,2.

В зависимости от характеристики фона и контраста объекта различения с фоном зрительные работы подразделяются на подразряды.

**Видимость  $V$**  – универсальная характеристика качества освещения, которая характеризует способность глаза воспринимать объект. Зависит от освещенности, размера объекта, его яркости, контраста объекта с фоном. Видимость определяется числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном:

$$V = \frac{K}{K_{\text{пор}}}, \quad (2.6)$$

где  $K$  – контраст объекта с фоном;  $K_{\text{пор}}$  – пороговый контраст, т. е. наименьший различимый глазом контраст, при небольшом уменьшении которого объект становится неразличимым.

Установки искусственного освещения имеют такие дополнительные характеристики, как степень слепящего действия источника света, пульсация, спектр света.

**Показатель ослепленности  $P$**  – критерий оценки слепящего действия осветительной установки:

$$P = (S - 1) 1000, \quad (2.7)$$

где  $S$  – коэффициент ослепленности, равный отношению видимости объекта соответственно при экранировании и при наличии источников, создающих блескость в поле зрения.

**Коэффициент пульсации освещенности  $K_{\text{п}}$**  – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании их переменным током:

$$K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{cp}}} 100, \quad (2.8)$$

где  $E_{\text{max}}$  и  $E_{\text{min}}$  – соответственно максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк;  $E_{\text{cp}}$  – среднее значение освещенности за этот же период, лк.

Следует иметь в виду, что на глаз совместно действуют качественные и количественные характеристики света, обеспечивающие определенную степень работоспособности человека.

Для успешного и безопасного выполнения производственного процесса зрение человека должно все время сохранять так называемые контрастную чувствительность и остроту различения. Различение мелких деталей, рисок и т. п. (т. е. объектов различения) возможно лишь при определенном контрасте деталей и фона, на котором они рассматриваются. Способность глаза различать наименьшие контрасты называется **контрастной чувствительностью**. Исследованиями установлено, что контрастная чувствительность возрастает с увеличением освещенности рабочей поверхности. Способность глаза наблюдать объ-

екты различения называется **остротой различения**. Она зависит от контраста детали и фона, от освещенности поля зрения и других факторов. С увеличением освещенности острота различения возрастает.

Приспособляемость глаз к различной яркости ограничена определенными пределами. Если в поле зрения находятся яркости, значительно превышающие норму, то функции зрения существенно снижаются, происходит ослепление. Различают два вида слепящей яркости, или блескости: *прямую*, исходящую непосредственно от источника света (голая лампа), и *косвенную*, которую можно наблюдать на освещаемых поверхностях. Второй вид блескости часто встречается в условиях производства (при обработке металлов, на полированных и лакированных поверхностях и т. п.).

Ослепление сопровождается раздражением и резью глаз, головной болью и серьезным расстройством зрения. Работа при недостаточном освещении или переменной яркости требует сильного напряжения зрения, что приводит к частой переадаптации глаз и быстрому их переутомлению.

Способность зрения приспособляться к различной степени освещенности объясняется двумя свойствами зрения: аккомодацией и адаптацией. **Аккомодация** заключается в приспособляемости глаз различать предметы, находящиеся на разных расстояниях, что достигается изменением кривизны хрусталика глаза. Частая приспособляемость утомляет глаза, неизбежно отражается на скорости и качестве выполняемой работы и может быть косвенной причиной травматизма.

В зависимости от источника света производственное освещение может быть естественным, искусственным и совмещенным (ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение»).

**Естественное освещение** – это освещение помещений дневным светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях. По конструктивному исполнению подразделяется на *боковое (одно- и двухстороннее* – через проемы в наружных стенах), *верхнее* (через светоаэрационные фонари, световые проемы в перекрытиях, а также через проемы в местах перепада высот здания) и *комбинированное* (представляет собой сочетание верхнего и бокового освещения). На рис. 2.2 представлены виды естественного освещения.

Помещения с постоянным пребыванием людей должны, как правило, иметь естественное освещение.

**Искусственное освещение** по функциональному назначению подразделяется на *рабочее, аварийное, охранное и дежурное*.

**Рабочее освещение** – освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

**Аварийное освещение**, в свою очередь, подразделяется на *эвакуационное и освещение безопасности*.

**Эвакуационное освещение** – освещение, предназначенное для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения. Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу

основных проходов и на ступенях лестниц: в помещениях – 0,5 лк, на открытых территориях – 0,2 лк.

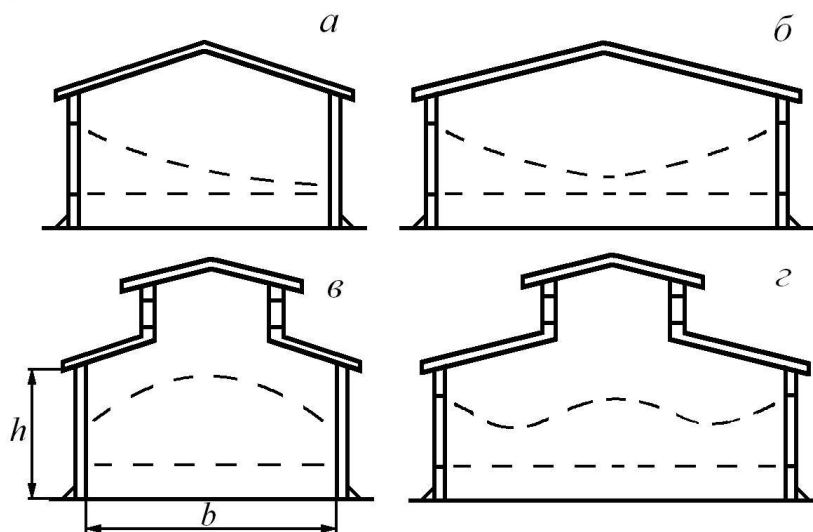


Рис. 2.2. Схема расположения световых проемов и освещенности помещений:  
*a* – боковое одностороннее освещение (при  $b < 12$  м); *б* – боковое двухстороннее (при  $b > 12$  м); *в* – верхнее (при  $b > 5h$ ); *г* – комбинированное

*Освещение безопасности* – освещение, необходимое для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Оно предусматривается в случаях, когда отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать взрыв, пожар, отравление людей, длительный сбой технологического процесса, нарушение работы объектов, обеспечивающих жизнедеятельность населения. Освещение безопасности должно обеспечивать на рабочих поверхностях наименьшую освещенность в размере 5% от рабочего, но не менее 2 лк внутри здания и 1 лк – на территории предприятия.

*Дежурное освещение* – энергосберегающее освещение, используемое в нерабочее время.

*Охранное освещение* – освещение, предусматриваемое вдоль границ охраняемой территории при отсутствии специальных технических средств охраны.

Искусственное освещение по месту расположения светильников используется двух систем: *общее* и *комбинированное*. **Общее** – освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (*общее равномерное*) или группируются с учетом расположения оборудования (*общее локализованное*). Система **комбинированного освещения** включает *общее* и *местное* освещение. Применение одного местного освещения (без общего) внутри помещений не допускается. Комбинированное освещение применяется при необходимости высокой освещенности рабочих поверхностей, а также тогда, когда к направлению светового потока предъявляются специальные требования. В комбинированной системе общее освещение составляет не менее 10% от требуемой нормируемой освещенности, а местное – 90%.



В качестве источников искусственного света для освещения помещений следует использовать наиболее экономичные разрядные лампы. Использование ламп накаливания для общего освещения допускается только в случае невозможности или технико-экономической нецелесообразности использования разрядных ламп. Для местного освещения кроме разрядных источников света рекомендуется использовать лампы накаливания, в том числе галогенные.

При **совмещенном освещении** недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

Совмещенное освещение помещений производственных зданий следует предусматривать: для производственных помещений, в которых выполняются работы I–III разрядов; для производственных и других помещений в случаях, когда по условиям технологии, организации производства или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированное значение коэффициента естественной освещенности (многоэтажные здания большой ширины, одноэтажные многопролетные здания с пролетами большой ширины и т. п.); в соответствии с нормативными документами по строительному проектированию зданий и сооружений отдельных отраслей промышленности.

Высокая зрительная работоспособность и производительность труда тесно связаны между собой рациональным производственным освещением. И основные требования к освещению на рабочем месте вне зависимости от источника света должны быть следующими:

- достаточность освещения, что должно обеспечить комфортные условия для общей работоспособности и оптимальные уровни яркости для работы зрительного анализатора;
- обеспечение безопасного выполнения работы;
- равномерность освещения во времени и пространстве, чтобы предметы и объекты, имеющие разную отражательную способность и значительную яркость, воспринимались органом зрения в полном объеме.

Везде, где это возможно, следует пользоваться только естественным освещением как наиболее благоприятным для зрения и экономичным. Естественный (солнечный) свет по своему спектральному составу значительно отличается от света искусственных светильников. В спектре солнечного света гораздо больше полезных для человека ультрафиолетовых лучей. Высокая диффузность (рассеивание) этого света очень благоприятна для зрения.

Нормированные значения коэффициента естественной освещенности при естественном освещении и освещенность на рабочих поверхностях при искусственном освещении изложены в ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение». ТКП 45-2.04-153-2009 включает требования к уровням освещения как для производственных условий на рабочих местах, так и для административных, санитарно-бытовых, общественных и жилых зданий и помещений.

Применяемые нормы освещенности являются нормами гигиенического минимума и должны рассматриваться как наименьший предел, допустимый с точки зрения охраны труда и здоровья трудящихся.

При выборе освещенности учитываются: точность работы, характеризуе-

мая отношением наименьшего размера подлежащих различению деталей к расстоянию до глаз (обычно 25–30 см); коэффициент отражения рабочей поверхности; контраст между деталью и фоном; длительность времени, в течение которого требуется напряжение зрения; наличие поверхностей или предметов, опасных для прикосновения и т. д.

Под **естественным**, или дневным, светом в светотехнике принято понимать свет, создаваемый солнечным и небесным излучениями. Освещение естественным светом открытой поверхности земли создается прямым солнечным светом и диффузным (рассеянным) светом небесного излучения. Интенсивность солнечного светоизлучения, или солнечная радиация, зависит от степени высоты стояния солнца над горизонтом в течение года и ежедневно; наличия или отсутствия на небе облачности; степени загрязненности атмосферы пылью, копотью, дымом; прямого или рассеянного действия света.

Следует отметить, что естественное освещение имеет резкие колебания уровня освещенности, меняющегося в течение светового дня и по временам года, в зависимости от погодных условий и ряда других факторов. Непостоянство естественного света даже в течение короткого промежутка времени вызвало необходимость нормировать естественное освещение с помощью относительного показателя – **коэффициента естественной освещенности (КЕО ( $e$ ))**.

КЕО – это отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба  $E_{вн}$  (непосредственным и после отражений от внутренних поверхностей помещения), к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности  $E_{нар}$ , создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах:

$$КЕО(e) = \frac{E_{вн}}{E_{нар}} \cdot 100. \quad (2.9)$$

Нормированные значения КЕО ( $e_N$ ) определяют по формуле

$$e_N = e_H \cdot m. \quad (2.10)$$

где  $e_H$  – значения КЕО из табл. 2.1;  $m$  – коэффициент светового климата (табл. 2.2).

При боковом одно- и двухстороннем естественном освещении нормируется *минимальное значение КЕО*; при боковом одностороннем – на расстоянии 1 м от стены в точке, наиболее удаленной от световых проемов, и на высоте 0,8 м от пола (уровень условной рабочей поверхности), при боковом двухстороннем – в точке посередине помещения.

**Условная рабочая поверхность** – условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола.

В крупногабаритных производственных помещениях при боковом освещении минимальное значение КЕО нормируется в точке, удаленной от световых проемов:

- на 1,5 высоты помещения для работ I–IV разрядов;
- на 2 высоты помещения для работ V–VII разрядов;
- на 3 высоты помещения для работ VIII разряда.

Таблица 2.1

**Нормы проектирования освещения производственных помещений (ГКП 45-2.04-153-2009)**

1	Характеристика зрительной работы	2	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	3	4	5	6	Искусственное освещение				Естественное освещение		Совмещенное освещение											
								Освещенность, лк		Сочетание нормируемых величин показателя		7	8	9	10	11	12	13	14	15					
								при системе комбинированного освещения	при системе общего освещения	в том числе от общего	всего										Р	Кп, %	при боковом освещении	при боковом освещении	
Наивысшей точности	I	а	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15									
																	Малый	Темный	5000	500	-	20	10	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
																	Малый	Средний	4500	500	-	10	10	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
																	Средний	Темный	4000	400	1250	20	10	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
I	в	б	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	7	8	9	10	11	12	13	14	15										
																Малый	Средний	2500	300	750	20	10	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	
																Средний	Большой	2000	200	600	10	10	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	
I	г	в	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	7	8	9	10	11	12	13	14	15										
																Средний	Большой	1500	200	400	20	10	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	
I	г	в	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	7	8	9	10	11	12	13	14	15										
																Большой	Средний	1250	200	300	10	10	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	a	Малый	Темный	4000 3500	400 400	- -	20 10	10						
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000 1500	200 200	500 400	20 10	10		-		4,2	1,5	
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	1000 750	200 200	300 200	20 10	10						
			а	Малый	Темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15						
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15						
	Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750 600	200 200	300 200	40 20	15				3,0	1,2
				г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	400	200	200	40	15					
				а	Малый	Темный	750	200	300	40	20					
				б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20					
				в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20					
				г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	-	-	200	40	20					
Средней точности	Свыше 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20						
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20						
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	-	-	200	40	20						
												4		1,5	2,4	0,9

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	a	Малый	Темный	400	200	300	40	20					
			б	Малый	Средний	–	–	200	40	20					
				Средний	Темный	–	–	200	40	20					
			в	Малый	Средний	–	–	200	40	200	40	20	3	1	1,8
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	г	Средний	Светлый	–	–	200	40	20					
				Большой	Светлый	–	–	200	40	20					
				Большой	Средний	–	–	200	40	20					
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6	
				То же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6	
				То же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6	
Общее наблюдение за ходом производственного процесса: постоянное		VIII	а	То же		–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2	
				То же		–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2	
				То же		–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1	
				То же		–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1	

Значения коэффициента светового климата (ТКП 45-2.04-153-2009)

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата $m$	
		Брестская и Гомельская области	Остальная территория Республики Беларусь
В наружных стенах зданий	С	0,9	1
	СВ, СЗ	0,9	1
	З, В	0,9	1
	ЮВ, ЮЗ	0,85	1
	Ю	0,85	0,95
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю	0,9	1
	СВ-ЮЗ ЮВ-СЗ	0,9	1
	В-З	0,85	1
В фонарях типа «Шед»	С	0,9	1
В зенитных фонарях	–	1	1

*Примечание.* С – северная, СВ – северо-восточная, СЗ – северо-западная, З – западная, В – восточная, ЮВ – юго-восточная, ЮЗ – юго-западная, Ю – южная, С-Ю – север-юг, В-З – восток-запад.

При верхнем или комбинированном естественном освещении нормируется *среднее значение КЕО* в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

**Характерный разрез помещения** – поперечный разрез посередине помещения, плоскость которого перпендикулярна плоскости остекления световых проемов (при боковом освещении) или продольной оси пролетов помещения (участки с наибольшим количеством рабочих мест, а также точки рабочей зоны, наиболее удаленные от световых проемов).

Допускается деление помещения на зоны с боковым освещением (зоны, примыкающие к наружным стенам с окнами) и зоны с верхним освещением. Нормирование и расчет естественного освещения в каждой зоне производятся независимо.

В практике КЕО широко используется при расчетах величины световых проемов в проектируемых зданиях. Кроме того, он применяется в качестве оценки пригодности помещения для выполнения работ заданной точности. Такая оценка проводится для помещений, целевое назначение которых изменилось.

При выборе требуемого минимального уровня освещенности рабочего места необходимо установить **разряд (характер) выполняемой зрительной работы**. Его определяют по наименьшему *размеру объекта различения* (мм).

В соответствии с ТКП 45-2.04-153-2009 все зрительные работы, проводимые в производственных помещениях, делятся на восемь разрядов. Разряд I – работы наивысшей точности с размером объекта различения менее 0,15 мм; разряд VIII – общее наблюдение за ходом технологического процесса без ограничения размера объекта различения.

В производственных помещениях со зрительной работой I–III разрядов следует устраивать совмещенное освещение.

При **искусственном освещении** рабочих мест нормируется минимальная освещенность рабочей поверхности в зависимости от разряда и подразряда выполняемой работы. Подразряд зрительной работы определяется в зависимости от характеристики фона и контраста объекта различения с фоном. Нормативные значения минимальной освещенности приведены в табл. 2.1.

Нормы освещенности, приведенные в табл. 2.1, следует повышать на одну ступень шкалы освещенности в следующих случаях:

а) при работах I–VI разрядов, если зрительная работа выполняется более половины рабочего дня;

б) при повышенной опасности травматизма, если освещенность от системы общего освещения составляет 150 лк и менее (работа на дисковых пилах, гильотинных ножницах и т. п.);

в) при специальных повышенных санитарных требованиях (например, на предприятиях пищевой и химико-фармацевтической промышленности), если освещенность от системы общего освещения – 500 лк и менее;

г) при работе или производственном обучении подростков, если освещенность от системы общего освещения – 300 лк и менее;

д) при отсутствии в помещении естественного света и постоянном пребывании работающих, если освещенность от системы общего освещения – 750 лк и менее;

е) при наблюдении деталей, вращающихся со скоростью, равной или более 5000 об/мин, или объектов, движущихся со скоростью, равной или более 1,5 м/мин;

ж) при постоянном поиске объектов различения на поверхности размером 0,1 м<sup>2</sup> и более;

з) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

При наличии одновременно нескольких признаков следует повы-

шать нормы освещенности не более чем на одну ступень.

В помещениях, где выполняются работы IV–VI разрядов, их нужно снижать на одну ступень при кратковременном пребывании людей или при наличии оборудования, не требующего постоянного обслуживания.

При выполнении в помещениях работ I–III, IVа, IVб, IVв, Va разрядов следует применять систему комбинированного освещения. Предусматривать систему общего освещения допускается при технической невозможности или нецелесообразности устройства местного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с органами Государственного санитарного надзора.

При наличии в одном помещении рабочих и вспомогательных зон следует предусматривать локализованное общее освещение (при любой системе освещения) рабочих зон и менее интенсивное освещение вспомогательных, относя их к разряду VIIа.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения в системе комбинированного, должна составлять не менее 10% нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. При этом освещенность должна быть не менее 200 лк при газоразрядных лампах, не менее 75 лк – при лампах накаливания. Создавать освещенность от общего освещения в системе комбинированного более 5000 лк при газоразрядных лампах и более 150 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

В помещениях без естественного света освещенность рабочей поверхности, создаваемую светильниками общего освещения в системе комбинированного, следует повышать на одну ступень.

Отношение максимальной освещенности к минимальной не должно превышать для работ I–III разрядов при люминесцентных лампах 1,3, при других источниках света – 1,5, для работ разрядов IV–VII – 1,5 и 2,0 соответственно.

Неравномерность освещенности допускается повышать до 3,0 в тех случаях, когда по условиям технологии светильники общего освещения могут устанавливаться только на площадках, колоннах или стенах помещения.

В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не производится, должна составлять не более 25% от нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 30 лк при лампах накаливания.

При оценке и нормировании *совмещенного освещения* необходи-



мо по данным табл. 2.1 выбрать нормативную величину КЕО для выполняемого разряда зрительной работы и конструктивного исполнения естественного освещения.

Освещенность от системы общего искусственного освещения (при совмещенном освещении) принимается по табл. 2.1 для соответствующего разряда и подразряда зрительной работы с повышением на одну ступень по шкале освещенности (кроме разрядов Ib, Iv, IIb). При этом освещенность рабочей поверхности в любом случае должна составлять не менее 200 лк при разрядных лампах и 100 лк при лампах накаливания. При использовании комбинированного искусственного освещения (в системе совмещенного) нормативная освещенность от светильников общего освещения повышается на одну ступень по шкале освещенности для всех разрядов, кроме Ia, Ib, IIa.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Описание прибора

Для измерения освещенности помещений используется люксметр Ю-116. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте, т. е. преобразовании световой энергии в электрическую. Люксметр (рис. 2.3) состоит из фотоэлемента 5, соединенного с милливольтметром 6. Шкалы последнего проградуированы в люксах с пределами измерений: нижняя – от 0 до 30 лк, верхняя – от 0 до 100 лк. Увеличение пределов измерений осуществляется за счет применения насадок, которые надеваются на фотоэлемент. В комплект входят три насадки с коэффициентами ослабления:  $M = 10$ ,  $P = 100$ ,  $T = 1000$  (2, 3, 4). Перечисленные насадки применяются вместе с матовой полусферической насадкой К 1.

При использовании насадок предел измерений по верхней и нижней шкалам увеличивается. Новые значения пределов измерений в зависимости от комплекта применяемых насадок указаны в правой части прибора. В левой колонке указаны предельные значения нижней шкалы прибора в зависимости от применяемого комплекта насадок (KM, KP, KT), в правой – предельные значения верхней шкалы.

Благодаря применению насадок с помощью люксметра Ю-116 можно измерять освещенность до 100 000 лк.

Перед началом измерений необходимо соединить фотоэлемент 5 с милливольтметром 6, т. е. вилку фотоэлемента вставить в гнездо прибора, **строго соблюдая полярность**. Для того чтобы прибор при этом не вынимать из футляра, в последнем напротив соединительного гнезда сделан специальный вырез. Включение прибора производится

нажатием одной из кнопок в правой нижней части прибора (левая – нижняя шкала, правая – верхняя).

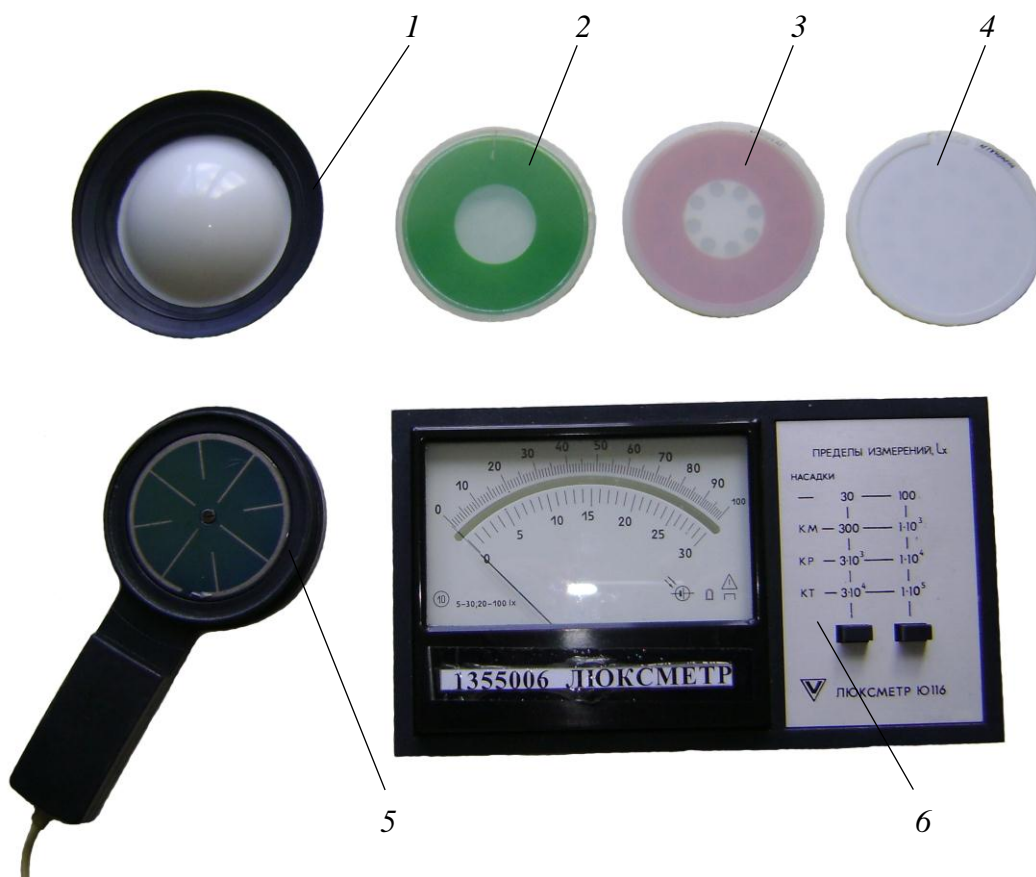


Рис. 2.3. Общий вид люксметра Ю-116:  
 1 – полусферическая насадка К; 2, 3, 4 – насадки с коэффициентами ослабления: М = 10, Р = 100, Т = 1000 соответственно;  
 5 – фотоэлемент; 6 – милливольтметр

Измерение освещенности следует начинать по шкале 0–30 (нажимается левая кнопка). Если при этом стрелка на шкале прибора смещается в крайнее правое положение, необходимо переключиться на шкалу 0–100 (надавливается правая кнопка). Если в этом случае стрелка прибора окажется в крайнем правом положении, следует использовать поочередно насадки КМ, КР, КТ в зависимости от освещенности, каждый раз начиная измерение по нижней шкале.

Смещение стрелки прибора в крайнее левое положение шкалы свидетельствует о том, что измеряемая освещенность мала. При этом следует заменить насадки с большим коэффициентом ослабления на

насадки с меньшим коэффициентом или снять их совсем.

При определении освещенности фотоэлемент устанавливается горизонтально на рабочих местах. По окончании работы отсоединить фотоэлемент от люксметра и аккуратно уложить комплектующие элементы в футляр прибора.

## 2.2. Порядок выполнения работы

### 2.2.1. Измерение естественного освещения

1. Дать характеристику естественного освещения помещения: боковое одностороннее; боковое двухстороннее; верхнее; комбинированное.

2. Произвести измерение освещенности помещения на расстоянии 1, 2, 3, 4, 5 м от наружной стены здания (расстояние отмечено на полу шурупам). Измерение производится на уровне горизонтальной рабочей поверхности на высоте 0,8 м от пола. При этом фотоэлемент удерживается горизонтально. Одновременно необходимо произвести измерение освещенности вне помещения в точке под открытым небом (фотоэлемент выставляется в окно). Полученные данные записать в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты измерения естественного освещения

Расстояние от поверхности наружной стены $L$ , м	1	2	3	4	5	Освещенность $E_{нар}$ вне помещения, лк
Освещенность $E_{вн}$ , лк						

3. Построить кривую светораспределения в помещении (рис. 2.4).

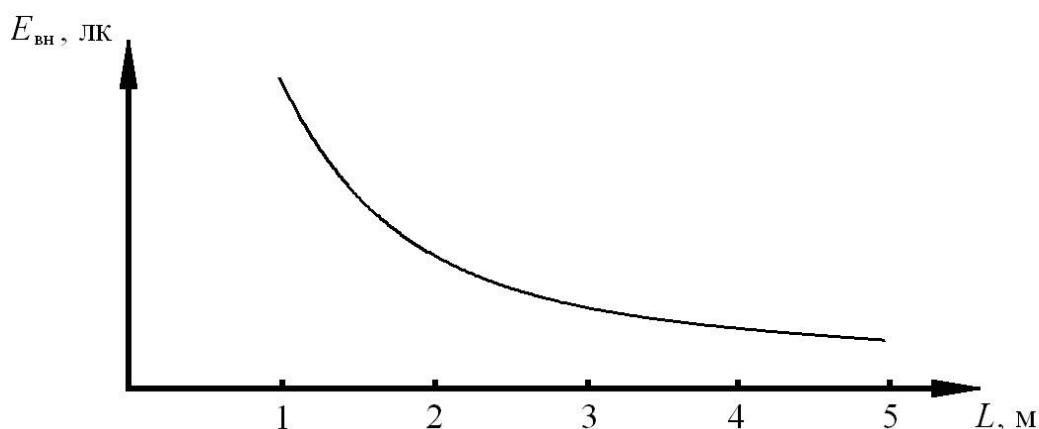


Рис. 2.4. Кривая светораспределения в помещении.

4. Определить КЕО, %, для точки, расположенной в 5 м от окна, по формуле (2.9).

5. Определить разряд и подразряд зрительной работы. Например, при чтении или написании конспекта наименьшим объектом различения является точка, размер которой колеблется в пределах от 0,5 до 1,0 мм. Смотрим в табл. 2.1 столбец 2, такие размеры соответствуют разряду зрительной работы – IV (столбец 3). При этом используется белая бумага, значит фон светлый. Так как применяем темные чернила или черную типографскую краску, то контраст объекта (точки) с фоном – большой. В табл. 2.1 для IV разряда зрительной работы в столбцах 5 и 6 ищем слова «большой» и «светлый» на одном уровне по горизонтали. По столбцу 4 определяем подразряд зрительной работы – г. Значит разряд и подразряд зрительной работы – IVг, т. е. работы средней точности.

6. На основании полученных данных и используя табл. 2.1, дать оценку помещения с точки зрения пригодности его для выполнения работ определенной точности. Указать необходимость использования совмещенного освещения.

### **2.2.2. Измерение совмещенного освещения**

1. Пункт 2.2.2 выполняется, если при выполнении пункта 2.2.1 установлена необходимость устройства совмещенного освещения для выполнения работ заданного разряда.

2. Используя данные табл. 2.1, найти для заданного разряда зрительной работы нормативное значение КЕО при совмещенном освещении рабочих мест и сопоставить его с фактическим, полученным при оценке естественного освещения в пункте 2.2.1. Если фактическое значение КЕО меньше нормативного при совмещенном освещении, делается вывод о непригодности помещения для выполнения работ заданного разряда точности. Если фактическое значение КЕО больше нормативного при совмещенном освещении, выполнить подпункты 3 и 4.

3. Включить искусственное освещение, создав тем самым совмещенное освещение. Произвести измерение освещенности в 5 м от окна, т. е. в расчетной точке КЕО.

4. Используя табл. 2.1, определить для заданного разряда и подразряда работ нормативную освещенность в люксах (по столбцу 9) и сопоставить с фактической освещенностью. Полученные данные занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Результаты измерения совмещенного освещения**

Фактический КЕО, %	Нормативный КЕО при совмещенном освещении, %	Вывод о возможности устройства совмещенного освещения (возможно, невозможно)	Фактическая освещенность при совмещенном освещении (в точке с наименьшей естественной освещенностью), лк	Нормативная освещенность (искусственная освещенность), лк

Сделать вывод о соответствии фактической освещенности нормативным требованиям. При необходимости дать рекомендации по улучшению освещенности в помещении (увеличение количества светильников, установление ламп большей мощности, замена перегоревших ламп и др.).

**2.2.3. Измерение искусственного освещения**

1. Дать общую характеристику применяемой в помещении осветительной установки, для чего указать: а) размещение светильников – общее равномерное, общее локализованное, комбинированное; б) источники искусственного освещения – лампы накаливания, люминесцентные лампы, их мощность (для люминесцентных ламп тип цветности светового потока (ЛД, ЛХБ, ЛДЦ, ЛТБ) и мощность берутся из маркировки ламп, поставленных в светильники); в) светильники – открытые, защищенные, влагозащитные, пыленепроницаемые, взрывозащитные.

2. Зашторить окна, включить искусственный свет и произвести измерение освещенности на 4 рабочих местах. Записать полученные данные в табл. 2.5.

Таблица 2.5

**Результаты измерения искусственного освещения**

Рабочие места	1	2	3	4
Освещенность, лк				

3. Для заданного разряда и подразряда работ по табл. 2.1 определить минимальную освещенность и сопоставить с фактической. Сделать вывод о соответствии фактической освещенности нормативным

требованиям. При необходимости дать рекомендации по улучшению освещенности в помещении.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое влияние оказывает свет на здоровье человека и его работоспособность?
2. Что такое аккомодация и адаптация зрения человека?
3. Охарактеризуйте количественные и качественные показатели света. Дайте их определения.
4. Какие виды естественного освещения рабочих помещений вы знаете?
5. Каковы физический смысл и значение величины КЕО?
6. Как определить разряд и подразряд зрительной работы?
7. Как определяется нормативное и фактическое значение КЕО?
8. Виды искусственного освещения и их характеристики.
9. Требования, предъявляемые к различным видам искусственного освещения.
10. Как определить нормативное значение освещенности рабочих мест искусственным светом?
11. Дайте характеристику совмещенного освещения помещений. Где оно должно устанавливаться?
12. Расскажите об устройстве и правилах пользования люксметром.
13. Как оценить требования к освещению производственных помещений и выбрать значение нормируемых параметров по ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение»?

### **Литература**

1. Естественное и искусственное освещение: ТКП 45-2.04-153-2009. – Введ. 01.01.10. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 103 с.
2. Гармаза, А. К. Охрана труда: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальностям лесного профиля / А. К. Гармаза, И. Т. Ермак, Б. Р. Ладик – Минск: БГТУ, 2010. – 366 с.

Лабораторная работа 3

**ТЕПЛОТДАЧА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ  
ТРУБ ПРИ СВОБОДНОМ ДВИЖЕНИИ ВОЗДУХА**

## 1. Цель работы

Определение коэффициентов теплоотдачи горизонтальной и вертикальной труб при свободном движении воздуха, установление их зависимости от температурного напора; сравнение опытных данных с расчетными, полученными из уравнений подобия.

6

## 2. Основные теоретические положения

Процессы теплообмена, связанные с движением жидкостей, соприкасающихся с поверхностью твердых тел, получили название конвективного теплообмена. В этом случае перенос теплоты осуществляется одновременным действием теплопроводности и конвекции.

Различают два вида конвекции: свободную и вынужденную. Свободная конвекция, изучаемая в данной работе, возникает вследствие разности плотностей нагретых и холодных частиц жидкости или газа, когда температура поверхности тела отличается от температуры окружающей среды. Чем больше эта разность температур, тем интенсивнее процесс свободного конвективного теплообмена. Теплообмен зависит также от физических свойств среды, формы и положения тела и ряда других факторов.

В основе тепловых расчетов конвективного теплообмена лежит формула Ньютона-Рихмана:

$$Q_k = \alpha F(t_c - t_{ж}), \quad (3)$$

где  $Q_k$  - количество теплоты, отданное поверхностью нагрева жидкости, Вт;  $F$  - площадь поверхности нагрева,  $m^2$ ;  $t_c - t_{ж}$  - разность температур поверхности тела и жидкости, К;  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ .

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  определяет интенсивность конвективного теплообмена и представляет собой количество теплоты, отданное среде поверхностью в  $1 m^2$  в единицу времени при разности температур между поверхностью нагрева и средой в  $1$  градус.

В современном учении о конвективном теплообмене принято обрабатывать данные эксперимента в виде безразмерных комплексов, называемых числами подобия. Эта обработка позволяет распространять опытные данные исследуемого явления на группу ему подобных. Примером такой обработки служит уравнение подобия, предложенное М. А. Михеевым для случая теплоотдачи горизонтальной трубы при свободной конвекции воздуха:

$$\overline{Nu}_{d,ж} = 0,5(Gr_{d,ж} Pr_{ж})^{0,25}, \quad (4)$$



где  $\overline{Nu}_{d,ж} = \overline{\alpha}d/\lambda_{ж}$  - число Нуссельта, позволяющее рассчитать теплообмен у стенки трубы;  $Gr_{d,ж} = \beta g d^3 (t_c - t_{ж})/\nu_{ж}^2$  - число Грасгофа, учитывающее действие подъемных (архимедовых) сил, возникающих при нагреве жидкости у стенки;  $Pr_{ж}$  - число Прандтля, характеризующее физические свойства окружающей среды.

Здесь  $\overline{\alpha}$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\nu_{ж}$  - кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda_{ж}$  - коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м·К);  $\beta$  - коэффициент объемного расширения, равный для газов 1/Т<sub>ж</sub>, 1/К; g - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>; d - диаметр трубы, м.

Физические параметры ( $\nu_{ж}, \lambda_{ж}$ ) при вычислении чисел подобия Грасгофа и Нуссельта и величину числа Прандтля выбирают из табл. П.2 приложения по температуре окружающего воздуха; в качестве определяющего размера принимается диаметр трубы.

Определив значение числа Нуссельта, можно вычислить среднее расчетное значение коэффициента теплоотдачи  $\overline{\alpha}$  для случая горизонтальной трубы.

При достаточной протяженности вертикальной поверхности, вдоль которой перемещается поток воздуха при свободной конвекции, в начале соприкосновения имеет место ламинарное течение в пристенном слое воздуха, которое затем разрушается, образуя переходный режим, а далее полностью преобразуется в турбулентное. Эти последовательные превращения режимов зависят от температурного напора  $\Delta t = t_c - t_{ж}$ , а также от протяженности омываемой поверхности.

Для теплообмена вертикальной трубы, омываемой свободным потоком воздуха, М. А. Михеевым рекомендованы следующие уравнения подобия:

при  $10^3 < (Gr_{d,ж} Pr_{ж}) < 10^9$  (ламинарный режим)

$$Nu_{h,ж} = 0,76 (Gr_{h,ж} Pr_{ж})^{0,25}; \quad (5)$$

при  $(Gr_{h,ж} Pr_{ж}) > 10^9$  (турбулентный режим)

$$Nu_{h,ж} = 0,15 (Gr_{h,ж} Pr_{ж})^{0,33}; \quad (6)$$

В качестве определяющего линейного размера при расчете числа Грасгофа принимают высоту трубы h. Для вычисления числа Нуссельта по последним формулам физические параметры воздуха ( $\nu_{ж}$  и  $\lambda_{ж}$ ), входящие в числа подобия, и величину числа Прандтля находят по температуре воздуха t<sub>ж</sub> из табл. П.2 приложения. Вычислив число Нуссельта, можно определить среднее расчетное значение коэффициента теплоотдачи  $\overline{\alpha}$  для случая теплообмена вертикальной трубы при свободной конвекции.

Индексы d, h, ж в уравнениях подобия обозначают определяющий размер - диаметр d, высоту трубы h и определяющую температуру - температуру воздуха - t<sub>ж</sub>.

### 3. Методика выполнения работы

Схема установки для определения коэффициента теплоотдачи при свободном движении воздуха в большом объеме представлена на рис. 2. Две дюралевые трубы 1 и 3 с наружным диаметром  $d = 28$  мм и длиной  $l = 820$  мм расположены одна горизонтально, а другая вертикально. Внутри труб вмонтированы электрические нагреватели 2 и 4, мощность которых измеряется ваттметрами 5 и 7. Регулировка мощности нагревателей производится лабораторными автотрансформаторами. Для измерения температуры теплоотдающей поверхности в стенках труб зачеканены три хромель-копелевых термопары, которые присоединены к автоматическому потенциометру 6, измеряющему температуру поверхности трубы в градусах Цельсия. Температура воздуха измеряется ртутным термометром.

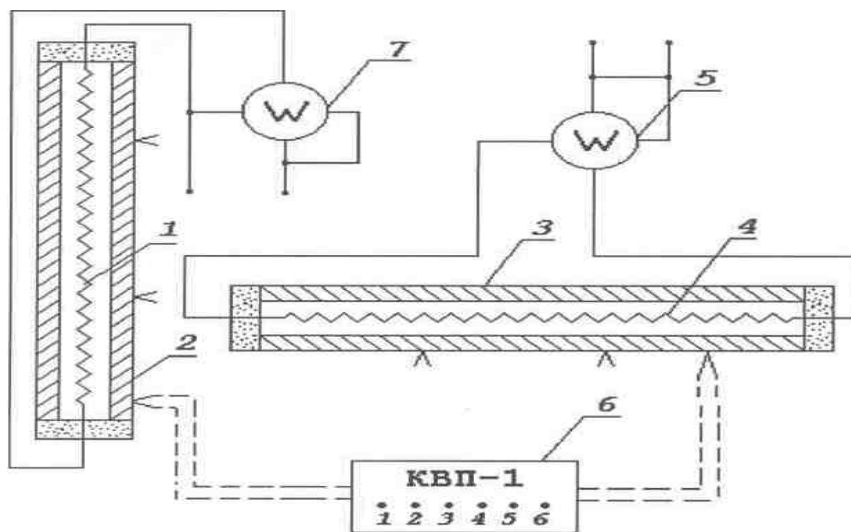


Рис. 2

Порядок выполнения работ включает:

1. Опыт ставится при стационарном (установившемся) тепловом режиме. Стационарный режим наступает приблизительно через 30 - 50 мин. после включения нагревателя.
2. Установить одинаковую мощность  $Q$  нагревателей горизонтальной и вертикальной труб, записать показания ваттметров. При установившемся тепловом режиме записать показания потенциометра, измеряющего температуру в трех точках горизонтальной трубы и трех точках вертикальной. Вычислить среднюю температуру поверхности труб.
3. Перейти на новый температурный режим, для чего изменить лабораторным автотрансформатором мощность нагревателей труб и добиться стационарного режима; повторить опыты при трех различных температурных режимах. Мощность нагревателей  $Q$  не должна превышать 100 Вт.
4. Данные наблюдений и расчетов свести в таблицу по форме 2а для горизонтальной трубы и по форме 2б - для вертикальной.

Геометрические параметры труб:  $d=...$ , м;  $l=...$ , м;  $F=...$ , м<sup>2</sup>.

Температура воздуха  $t_{ж}=...$ , °С;  $T_{ж}=...$ , К;  $\varepsilon=...$

Горизонтальная труба										
№ оп.	Q, Вт	t <sub>1</sub> ,	t <sub>2</sub> ,	t <sub>3</sub> ,	t <sub>ср</sub> ,	Δt <sub>ср</sub> ,	Q <sub>л</sub> ,	Q <sub>к</sub> ,	α <sub>оп</sub> ,	α <sub>расч</sub> ,
		°С				К	Вт	Вт	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)

9

Вертикальная труба										
№ оп.	Q, Вт	t <sub>1</sub> ,	t <sub>2</sub> ,	t <sub>3</sub> ,	t <sub>ср</sub> ,	Δt <sub>ср</sub> ,	Q <sub>л</sub> ,	Q <sub>к</sub> ,	α <sub>оп</sub> ,	α <sub>расч</sub> ,
		°С				К	Вт	Вт	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)

**Обработка экспериментальных данных.** Коэффициент теплоотдачи вычислить по уравнению

$$\alpha_{оп} = Q_{к} / F\Delta t_{ср}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

где  $Q_{к}$  - конвективный тепловой поток,  $F$  - площадь поверхности трубы,  $\Delta t_{ср} = t - t_{ж}$  - средняя разность между температурой поверхности трубы и окружающего воздуха.

Количество теплоты  $Q_{к}$ , переданное конвекцией, определяется из равенства

$$Q_{к} = Q - Q_{л},$$

где  $Q$  - полное количество теплоты, которое выделяется внутри трубы и передается во внешнюю среду путем конвекции и лучеиспускания (мощность, потребляемая электронагревателем трубы);  $Q_{л}$  - лучистый тепловой поток.

Количество теплоты, передаваемое тепловым излучением, определяется из уравнения

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon C_0 F [(T_{\text{ст}} / 100)^4 - (T_{\text{ж}} / 100)^4], \text{ Вт},$$

где  $C_0 = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  - коэффициент излучения абсолютно черного тела;  $\varepsilon$  - степень черноты материала трубы; для дюралевой слабополированной поверхности принимается  $\varepsilon = 0,35$ ;  $F = \pi dl$  - площадь поверхности опытной трубы,  $\text{м}^2$ ;  $T_{\text{ст}}$  и  $T_{\text{ж}}$  - абсолютные температуры поверхности трубы и окружающей среды,  $\text{К}$ .

По опытным данным строят графики зависимости  $\alpha_{\text{оп}} = f(\Delta t_{\text{ср}})$  для горизонтальной и вертикальной труб.

Расчет коэффициентов теплоотдачи горизонтальной и вертикальной труб по уравнениям подобия производится для одного режима.

Для теплообмена горизонтальной трубы при свободной конвекции воздуха рассчитать число Грасгофа, из табл. П.2 приложения определить величину числа Прандтля, по уравнению подобия (4) найти значение числа Нуссельта и определить расчетное значение коэффициента теплоотдачи.

$$\alpha_{\text{г расч}} = (\text{Nu} \lambda_{\text{ж}}) / d, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Для теплообмена вертикальной трубы при свободной конвекции рассчитать число Грасгофа

$$\text{Gr}_{\text{h,ж}} = \beta g h^3 \Delta t / \nu_{\text{ж}}^2.$$

Из табл. П.2 приложения найти величину числа Прандтля, вычислить произведение  $(\text{Gr}_{\text{h,ж}} \text{Pr}_{\text{ж}})$ . По этой величине определить режим потока воздуха (ламинарный или турбулентный), омывающего трубу; выбрав соответствующую формулу (5) или (6), вычислить значение числа Нуссельта и найти  $\alpha_{\text{в расч}}$ :

$$\alpha_{\text{в расч}} = (\text{Nu} \lambda_{\text{ж}}) / h, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Полученные расчетные данные  $\alpha_{\text{г расч}}$ ,  $\alpha_{\text{в расч}}$  сравнить с соответствующими опытными данными коэффициента теплоотдачи для выбранного режима.

#### 4. Содержание отчета

Заполненная форма с результатами измерений и расчетов, график зависимости коэффициента теплоотдачи от температурного напора.

Подписано в печать 24.03.18.

Электронное издание.

Издательство Современного технического университета

390048, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.

(4912) 300630, 30 08 30