

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Методические указания по выполнению лабораторных и практических работ для студентов специальностей 1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии», 1-26 02 03 «Маркетинг», 1-25 01 04 «Финансы и кредит», 1-25 01 10 «Коммерческая деятельность» заочной формы обучения

Витебск
2021

УДК 614.8.01

Составитель:

Н. В. Скобова

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 2 от 21.10.2021.

Безопасность жизнедеятельности человека : методические указания по выполнению лабораторных и практических работ / сост. Н. В. Скобова. – Витебск : УО «ВГТУ», 2021. – 50 с.

В методических указаниях представлены практические задания по разделам «Основы экологии», «Основы энергосбережения», лабораторные работы по разделам «Защита населения. Радиационная безопасность», «Охрана труда». Все разделы входят в интегрированный модуль дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека».

Настоящие методические указания являются методическим материалом для выполнения практических и лабораторных работ для студентов специальности 1-25 01 07 «Экономика и управление на предприятии», 1-26 02 03 «Маркетинг», 1-25 01 04 «Финансы и кредит», 1-25 01 10 «Коммерческая деятельность» заочной формы обучения.

УДК 614.8.01

© УО «ВГТУ», 2021

Содержание

Практическая работа 1. Экологическая безопасность выбросов от автотранспорта	4
Практическая работа 2. Оценка энергопотребления встроенного помещения административного здания	15
Лабораторная работа 1. Исследование гамма-излучения	23
Лабораторная работа 2. Исследование естественного освещения производственных помещений	36
Список использованных литературных источников	44
Приложение	45

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1

(раздел «Основы экологии»)

Экологическая безопасность выбросов от автотранспорта

Цель работы: провести оценку экологической безопасности выбросов выхлопных газов автомобилей.

Основные сведения

В своей хозяйственной деятельности человек использует различный транспорт. Различают следующие виды транспорта: автомобильный, железнодорожный (наземный и подземный), воздушный, водный (речной и морской), а также рельсовый и безрельсовый наземный электротранспорт (трамваи, троллейбусы).

На различных видах транспорта используют следующие виды топлива: автомобильный и авиационный бензин, дизельное топливо, керосиновые фракции, природный газ и смесь разных видов топлива.

По конструкции двигателей различают карбюраторные, дизельные и реактивные силовые установки, которые имеют разные конструкции и оказывают на природную среду различное воздействие.

Негативное влияние транспорта на окружающую среду состоит в том, что для его функционирования необходимо топливо, которое само по себе токсично; при работе разных двигателей поглощается кислород и выделяются выхлопные газы, многие из которых отрицательно влияют на природу.

Работа транспорта сопровождается шумом, вибрациями, излучением электромагнитных колебаний, тепловым загрязнением среды обитания. В процессе движения машин по грунтовым дорогам нарушается поверхностный слой почвы, возникает запыление и т. д.

Автомобильный транспорт – основной загрязнитель атмосферного воздуха. Установлено, что ежегодно один легковой автомобиль, поглощая 4 т молекулярного кислорода, выделяет в атмосферу 0,8 т CO, до 40 кг различных оксидов азота, до 200 кг углеводов, кроме того, сажу, тетраэтилсвинец и другие вещества (альдегиды, органические кислоты, полициклические углеводороды и их производные).

Двигатели, работающие на дизельном топливе, выделяют в окружающую среду меньшее количество угарного газа, но большее количество диоксидов углерода и серы.

Наименьшее количество вредных примесей содержится в выхлопных газах двигателей, работающих на сжиженном газе (CO в пять раз меньше, чем у бензиновых двигателей, оксидов азота – в два раза, а оксиды серы отсутствуют).

К факторам, оказывающих существенное влияние на уровень токсичных выбросов, относят: условия движения автомобиля (режимы работы двигателя); температуру окружающей среды; техническое состояние двигателя.

В отработавших газах автомобилей в период замедления движения содержится большое количество углеводородов. При движении автомобиля с постоянной скоростью количество токсичных выбросов значительно меньше. Максимальный выброс CO наблюдается при работе на холостом ходу, а при ускоренном движении автомобиля отработавшие газы характеризуются максимальным выбросом NO_x. В выхлопных газах содержатся канцерогенные (вещества, способствующие развитию раковых заболеваний) соединения, например, бенз(а)пирен.

Таким образом, состав выхлопных газов зависит как от типа двигателя, так и от режима работы транспорта, что важно учитывать при реализации природоохранных мероприятий.

Загрязнение воздуха городов токсичными веществами, выбрасываемыми автотранспортом, обуславливает во многих случаях концентрации токсичных веществ в воздухе в зоне дыхания, во много раз превышающие безвредные для здоровья человека. Выбросы токсичных веществ автомобилями зависят как от технического совершенства автомобилей и их двигателей, так и от экологических свойств моторных топлив.

При сгорании моторного топлива в бензиновых и дизельных двигателях при соотношении кислород воздуха/топливо помимо основных продуктов полного окисления – воды и диоксида углерода – образуются и выбрасываются с отработавшими газами в воздух токсичные вещества: оксиды углерода; оксиды азота; органические кислородосодержащие соединения; несгоревшие углеводороды, сажа; свинец (в виде бромидов и хлоридов) – при использовании свинцовых антидетонаторов (этилированных бензинов).

Образование токсичных веществ в бензиновых и дизельных двигателях имеет свои особенности и отличия, ввиду этого и состав отработавших газов отличается. Основные токсичные продукты отработавших газов бензиновых двигателей – продукты неполного горения топлива: оксид углерода (CO) и недогоревшие углеводороды (C_mH_n).

Дизельный двигатель работает со значительным избытком воздуха, и микродиффузионный режим сгорания топлива создает условия образования токсичных веществ, значительно отличающиеся от условий в бензиновых двигателях. В результате в дизельных двигателях образование оксидов азота значительно выше, чем в бензиновых двигателях, а образование оксида углерода – много меньше. В то же время значительно выше степень полного и неполного окисления углеводородов, и, следовательно, значительно меньше выбросы суммы углеводородов и их оксипроизводных (но доля выбросов альдегидов в 1,5–4 раза выше), чем в бензиновых двигателях.

Кроме того, в выбросах дизельных двигателей всегда содержится сажа, ввиду особенностей диффузионного горения. Для оценки суммарной токсичности отработавших газов необходимы величины ПДК токсичных компонентов выбросов. Обычно при оценке токсичности веществ, выбрасываемых в воздух автотранспортом, исходили из значений максимальной разовой ПДК.

Однако в настоящее время города настолько насыщены автомобилями,

что правильнее пользоваться среднесуточными ПДК.

В таблице 1 приведены среднесуточные ПДК основных токсичных компонентов отработавших газов.

Таблица 1 – Среднесуточные ПДК основных токсичных компонентов отработавших газов

Вещество	ПДК _{сс} , мг/м ³
NO ₂	0,04
CO	3
C _m H _n	0,04
Твердые частицы (сажа)	0,05

По мере роста автомобильного парка стандарты на ограничение выбросов токсичных веществ введены во многих странах мира, в зависимости от концентрации автомобилей, климатических, рельефных условий и других факторов.

Под токсичностью выбросов двигателя автомобиля понимают способность выбросов двигателя оказывать токсическое воздействие на людей, животный мир. Токсическое воздействие определяется следующими факторами:

- составом токсичных веществ;
- абсолютным количеством выбросов токсичных веществ в единицу времени (или на единицу пути, пройденного автомобилем);
- физико-химическими законами превращения химических соединений в атмосфере;
- геофизическими законами распространения токсичных веществ;
- чувствительностью живых организмов.

Наибольшее количество загрязняющих веществ приходится на автомобили устаревших моделей (табл. 2). В автомобилях, выпускаемых в настоящее время в промышленно развитых странах, вредных выбросов в 10–15 раз меньше, чем 10–15 лет назад.

Таблица 2 – Нормы токсичности автомобилей для европейских стран

Наименование стандартов	Год введения	Содержание в выхлопе, г/кВт ч			
		NO _x	CO	C _m H _n	Твердые частицы
Евро-0	1988	14,4	11,2	2,5	–
Евро-1	1993	8,0	4,5	1,1	0,36
Евро-2	1996	7,0	4,0	1,1	0,15
Евро-3	1999	5,0	2,0	0,6	0,10
Евро-4	2005	3,5	1,5	–	0,02
Евро-5	2008	2,0	1,5	–	0,02

Нормы токсичности, установленные стандартом Евро-1, введены в Рес-

публике Беларусь в 1996 г., Евро-3 – в 2006 г., Евро-4 – в 2015 г. Стандарт Евро-5 в Беларуси еще не вводился. Однако с 1 января 2018 года все типы автомобилей, включая грузовой и пассажирский автотранспорт, производимые или импортируемые в страны Евразийского экономического союза (ЕАЭС), соответствуют пятому экологическому классу («Евро-5»).

Различают два основных метода снижения уровня токсичности вредных выбросов.

Первичный метод основан на снижении содержания в остаточных газах CO, CH, NOx за счет оптимизации рабочего процесса. Сюда входит и использование альтернативных видов топлива, и организация рабочего процесса, регулировки, применение различных добавок к топливам и т. д. Вторичный метод направлен на удаление вредных примесей уже на выходе из цилиндра двигателя. Применяется каталитическое обезвреживание выбросов, включающее фильтрацию от сажи и аэрозолей на пористых материалах с периодической термической регенерацией фильтра, каталитическое дожигание газообразных продуктов неполного сгорания на катализаторах и многое другое.

Катализатор – устройство в выхлопной системе, предназначенное для снижения токсичности отработавших газов посредством восстановления оксидов азота и использования полученного кислорода для дожига угарного газа и недогоревших углеводородов.

Для того чтобы повысить эффективность очистки целесообразно использовать эти два метода совместно.

Индивидуальное задание

Условие задачи. Автомобильный парк предприятия представлен двумя видами машин: с бензиновыми и дизельными двигателями внутреннего сгорания.

Средний пробег одного автомобиля составляет 10 000 км/год.

Для снижения токсичных выбросов, производимых автомобилями предприятия, предложены 2 альтернативных природоохранных мероприятия (ПОМ):

– применение трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов для автомобилей с бензиновыми двигателями и комбинированной системы фильтр-нейтрализатор для автомобилей с дизельными двигателями (первое природоохранное мероприятие – ПОМ 1);

– применение многофункциональной присадки к бензинам и дизельным топливам (второе природоохранное мероприятие – ПОМ 2).

Для оценки экологической безопасности выбросов выхлопных газов автомобилей необходимо:

1. Оценить суммарную токсичность выбросов автомобилями с бензиновыми и дизельными двигателями за год до проведения природоохранного мероприятия и по двум вариантам предложенных природоохранных мероприятий.

Расчет ведется отдельно для автомобилей с бензиновыми и дизельными

двигателями.

Результаты расчетов представить в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов суммарной токсичности выбросов автомобилей с бензиновым и дизельным двигателем

Суммарная токсичность выбросов автомобиля, кг/год						
вариант	с бензиновым двигателем			с дизельным двигателем		
	до ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	до ПОМ	ПОМ1	ПОМ2
	$M_{CO}^{\text{бензин}(0)}$	$M_{CO}^{\text{бензин}(1)}$	$M_{CO}^{\text{бензин}(2)}$	$M_{CO}^{\text{дизель}(0)}$	$M_{CO}^{\text{дизель}(1)}$	$M_{CO}^{\text{дизель}(2)}$

Методика оценки суммарной токсичности выбросов

Если при сжигании 1 кг топлива выделяется количество токсичного вещества A (m_A) и предельно допустимая среднесуточная концентрация его равна $ПДК_A$, то концентрация вещества A в воздухе будет равна $ПДК_A$.

Тогда объем воздуха, в котором разбавлены продукты сгорания (коэффициент разбавления – $K_p(A)$, $м^3$), равен

$$K_p(A) = \frac{m_A}{ПДК_A}. \quad (1)$$

Такая же степень загрязнения воздуха веществом B будет при

$$\frac{m_B}{ПДК_B} = \frac{m_A}{ПДК_A} \text{ или } K_p(B) = K_p(A).$$

Отсюда загрязнение воздуха веществом B можно выразить через количество вещества A (m_A):

$$m_A = \frac{m_B}{ПДК_B} \cdot ПДК_A. \quad (2)$$

Тогда суммарное загрязнение воздуха различными токсичными веществами можно рассчитать через количество одного вещества m_A , принятого за эталон, по формуле

$$m_A = \sum \frac{m_i}{ПДК_i} \cdot ПДК_A. \quad (3)$$

Примем за эталон оксид углерода CO . Тогда суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами, образующимися при сжигании 1 кг моторного топлива, будет определяться по формуле

$$m_{CO} = \sum \frac{m_i}{ПДК_i} \cdot ПДК_{CO}, \quad (4)$$

где m_{CO} – суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами, г/км; m_i – количество i -го токсичного вещества, выбрасываемого автомобилем за километр пробега, г/км; $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация i -го токсичного вещества, мг/м³; $ПДК_{CO}$ – предельно допустимая концентрация оксида углерода CO, мг/м³.

Суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами, образующимися при сжигании 1 кг **бензина**, определяются по формуле

$$m_{CO}^{\text{бензин}} = \left(\frac{m_{CO}}{ПДК_{CO}} + \frac{m_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} + \frac{m_{C_mH_n}}{ПДК_{C_mH_n}} \right) \cdot ПДК_{CO}, \quad (5)$$

где $m_{CO}, m_{NO_2}, m_{C_mH_n}$ – количество CO, NO₂, C_mH_n, выбрасываемых автомобилем с бензиновым двигателем за километр пробега, г/км (данные приведены в исходных данных в таблице 5); $ПДК_{CO}, ПДК_{NO_2}, ПДК_{C_mH_n}$ – предельно допустимые концентрации CO, NO₂, C_mH_n, мг/м³ (табл. 1).

Суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами, образующимися при сжигании 1 кг **дизельного топлива**, определяются по формуле

$$m_{CO}^{\text{дизель}} = \left(\frac{m_{CO}}{ПДК_{CO}} + \frac{m_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}} + \frac{m_{C_mH_n}}{ПДК_{C_mH_n}} + \frac{m_{сажа}}{ПДК_{сажа}} \right) \cdot ПДК_{CO}, \quad (6)$$

где $m_{CO}, m_{NO_2}, m_{C_mH_n}, m_{сажа}$ – количество CO, NO₂, C_nH_m, сажи, выбрасываемых автомобилем с дизельным двигателем за километр пробега, г/км (данные приведены в таблице 6); $ПДК_{CO}, ПДК_{NO_2}, ПДК_{C_mH_n}, ПДК_{сажа}$ – предельно допустимые концентрации CO, NO₂, C_mH_n, сажи, мг/м³ (табл. 1).

Для оценки суммарной токсичности выбросов автомобилями фирмы за год необходимо учитывать среднегодовой пробег L .

Суммарная токсичность годовых выбросов одним автомобилем M_{CO} , кг, определяется по формуле

$$M_{CO} = m_{CO} \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где M_{CO} – суммарная токсичность годовых выбросов одним автомобилем, кг/год; m_{CO} – суммарное загрязнение воздуха токсичными веществами на километр пробега автомобиля, г/км; L – среднегодовой пробег, км/год; 10^{-3} – коэффициент перевода годовых выбросов в килограммы.

2. Определить долю основных компонентов отработавших газов в суммарной токсичности выбросов.

Результаты расчетов представить в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов доли выбрасываемого двигателем вещества в суммарной токсичности выбросов автомобиля

Вещество	Доля в общей токсичности выбрасываемого двигателем вещества n_i , %		
	до ПОМ	ПОМ1	ПОМ2
<i>Автомобиль с бензиновым двигателем</i>			
Оксид углерода CO			
Диоксид азота NO ₂			
Углеводороды C _m H _n			
<i>Автомобиль с дизельным двигателем</i>			
Оксид углерода CO			
Диоксид азота NO ₂			
Углеводороды C _m H _n			
Сажа			

Доля в суммарной токсичности (n_i) любого выбрасываемого вещества (%) рассчитывается по формуле

$$n_i = \frac{m_i / \text{ПДК}_i}{\sum (m_i / \text{ПДК}_i)} 100\%, \quad (8)$$

где m_i – количество i -го токсичного вещества, выбрасываемого автомобилем за километр пробега, г/км; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го токсичного вещества, мг/м³ (табл. 2).

Для автомобиля с бензиновым двигателем внутреннего сгорания:

$$n_{CO} = \frac{m_{CO} / \text{ПДК}_{CO}}{m_{CO} / \text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2} / \text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_m H_n} / \text{ПДК}_{C_m H_n}} 100\%, \quad (9)$$

$$n_{NO_2} = \frac{m_{NO_2} / \text{ПДК}_{NO_2}}{m_{CO} / \text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2} / \text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_m H_n} / \text{ПДК}_{C_m H_n}} 100\%, \quad (10)$$

$$n_{C_m H_n} = \frac{m_{C_m H_n} / \text{ПДК}_{C_m H_n}}{m_{CO} / \text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2} / \text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_m H_n} / \text{ПДК}_{C_m H_n}} 100\%, \quad (11)$$

где m_{CO} , m_{NO_2} , $m_{C_m H_n}$ – количества CO, NO₂, C_mH_n, выбрасываемых автомобилем с бензиновым двигателем за километр пробега, г/км (данные приведены в таблице 5); ПДК_{CO} , ПДК_{NO_2} , $\text{ПДК}_{C_m H_n}$ – предельно допустимые концентрации CO, NO₂, C_mH_n, мг/м³ (табл. 1).

Для автомобиля с дизельным двигателем внутреннего сгорания:

$$n_{CO} = \frac{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n} + m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}} 100\%. \quad (12)$$

$$n_{NO_2} = \frac{m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n} + m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}} 100\%. \quad (13)$$

$$n_{C_mH_n} = \frac{m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n} + m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}} 100\%. \quad (14)$$

$$n_{сажа} = \frac{m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}}{m_{CO}/\text{ПДК}_{CO} + m_{NO_2}/\text{ПДК}_{NO_2} + m_{C_mH_n}/\text{ПДК}_{C_mH_n} + m_{сажа}/\text{ПДК}_{сажа}} 100\%, \quad (15)$$

где $m_{CO}, m_{NO_2}, m_{C_mH_n}, m_{сажа}$ – количества CO, NO₂, C_nH_m, сажи, выбрасываемых автомобилем с дизельным двигателем за километр пробега, г/км (данные приведены в таблице 6); ПДК_{CO}, ПДК_{NO₂}, ПДК_{C_mH_n}, ПДК_{сажа} – предельно допустимые концентрации CO, NO₂, C_mH_n, сажи, мг/м³ (табл. 1).

3. По результатам расчетов построить гистограммы (пример на рисунках 1, 2, 3).

4. Проанализировать экологическую эффективность предлагаемых природоохранных мероприятий и сделать вывод о целесообразности использования одного из двух предлагаемых природоохранных мероприятий.

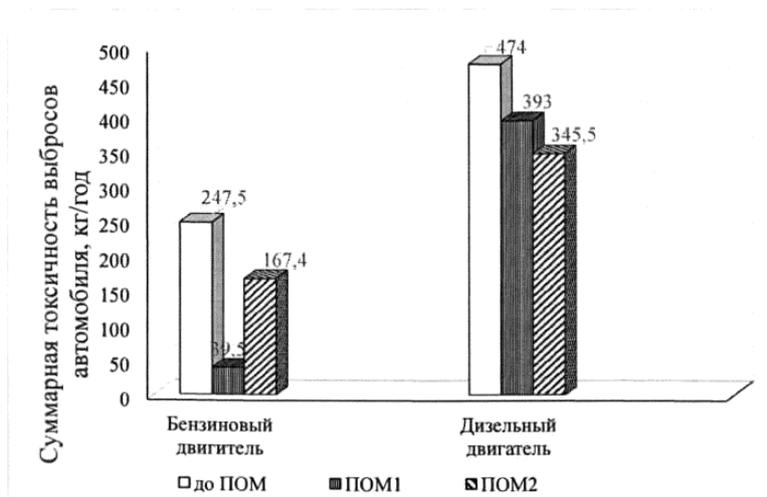


Рисунок 1 – Суммарная токсичность выбросов автомобиля, кг/год

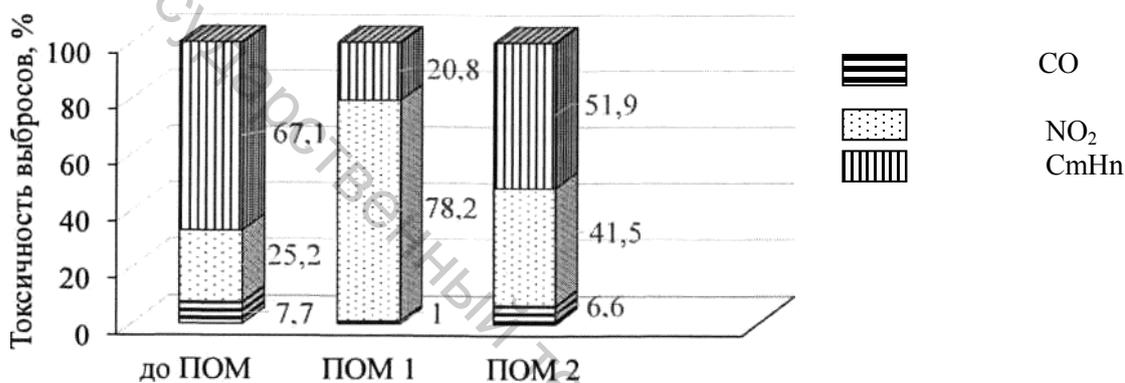


Рисунок 2 – Вклад в суммарную токсичность выбросов автомобилей с бензиновым двигателем

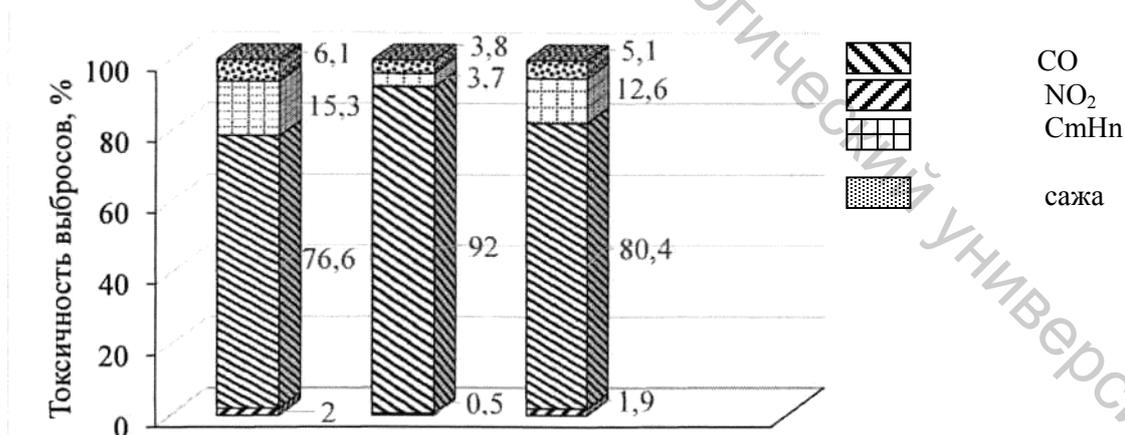


Рисунок 3 – Вклад в суммарную токсичность выбросов автомобилей с дизельным двигателем

Исходные данные представлены в таблице 5 и 6 (номер варианта берем по списку в журнале).

Таблица 5 – Выбросы токсичных веществ автомобилем с бензиновым двигателем

Вариант	Количество токсичного вещества, выбрасываемого автомобилем с бензиновым двигателем т, г/км								
	СО			NO ₂			C _n H _m		
	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,7	0,07	0,49	0,07	0,03	0,04	0,08	0,008	0,05
2	2,72	0,3	1,9	0,47	0,19	0,33	0,5	0,01	0,33
3	2,20	0,2	1,4	0,25	0,05	0,18	0,5	0,05	0,33
4	1,50	0,2	1,0	0,14	0,03	0,1	0,17	0,02	0,11
5	2,0	0,2	1,3	0,17	0,03	0,13	0,25	0,03	0,16
6	12,4	1,24	8,6	1,0	0,76	0,41	2,11	0,21	1,37
7	7,0	1,40	4,9	0,21	0,08	0,16	0,26	0,05	0,17
8	5,5	1,1	3,9	0,17	0,08	0,12	0,02	0,02	0,13
9	3,0	0,3	2,1	0,2	0,07	0,15	0,3	0,03	0,19
10	2,0	0,2	1,4	0,19	0,08	0,14	0,23	0,02	0,13
11	1,8	0,2	1,26	0,12	0,05	0,14	0,16	0,02	0,1
12	9,0	1,0	6,3	1,5	0,6	1,11	1,8	0,18	1,1
13	4,0	0,4	2,8	0,7	0,28	0,51	0,9	0,09	0,59
14	1,6	0,2	1,2	0,15	0,06	0,11	0,19	0,03	0,12
15	1,7	0,3	1,2	0,16	0,06	0,11	0,2	0,02	0,13
16	1,8	0,4	1,3	0,2	0,08	0,14	0,25	0,04	0,14
17	1,9	0,2	1,3	0,21	0,08	0,14	0,25	0,03	0,14
18	2,0	0,2	1,4	0,2	0,08	0,14	0,26	0,03	0,17
19	2,0	0,2	1,4	0,18	0,07	0,13	0,22	0,02	0,14
20	2,3	0,4	1,6	0,22	0,08	0,14	0,27	0,03	0,18
21	1,8	0,3	1,1	0,18	0,08	0,14	0,23	0,02	0,15
22	3,0	0,4	2,2	0,6	0,18	0,42	0,27	0,026	0,16
23	7,0	1,2	5,2	1,2	0,84	0,38	1,5	0,015	1,13
24	5,2	1,0	3,6	0,16	0,05	0,12	1,25	0,2	0,73
25	2,7	0,6	1,9	0,19	0,04	0,14	0,19	0,04	0,11
26	2,8	0,3	2,2	0,18	0,07	0,12	0,09	0,009	0,04
27	1,8	0,2	1,6	1,2	0,46	0,31	0,4	0,01	0,29
28	2,45	0,3	1,75	0,39	0,09	0,12	0,35	0,03	0,13
29	5,20	0,5	3,4	0,22	0,05	0,11	1,8	0,18	1,2
30	10,4	1,04	6,6	1,0	0,66	0,38	0,7	0,07	0,29

Таблица 6 – Выбросы токсичных веществ автомобилем с дизельным двигателем

Вариант	Количество токсичного вещества, выбрасываемого автомобилем с дизельным двигателем т, г/км											
	СО			NO ₂			C _n H _m			Сажа		
	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2	До ПОМ	ПОМ1	ПОМ2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,47	0,09	0,33	0,25	0,25	0,19	0,05	0,01	0,03	0,025	0,013	0,015
2	2,72	0,03	2,31	0,47	0,47	0,3	0,5	0,1	0,33	0,14	0,07	0,08
3	1,0	0,1	2,3	0,46	0,46	0,29	0,23	0,02	0,15	0,08	0,04	0,04

Окончание таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	0,6	0,06	0,5	0,5	0,5	0,39	0,06	0,0001	0,04	0,05	0,03	0,03
5	0,8	0,08	0,68	0,7	0,7	0,5	0,08	0,0001	0,05	0,06	0,03	0,03
6	3,1	0,3	2,6	5,6	5,6	4,2	1,1	0,1	0,72	0,18	0,09	0,09
7	2,3	0,0001	1,9	2,5	2,5	1,88	0,9	0,02	0,59	0,2	0,1	0,1
8	2,0	0,2	1,7	5,0	5,0	3,75	1,2	0,1	0,78	0,19	0,1	0,1
9	1,5	0,2	1,28	5,4	5,4	4,2	1,0	0,1	0,65	0,14	0,07	0,07
10	0,9	0,0001	0,77	0,49	0,49	0,36	0,16	0,0001	0,1	0,08	0,04	0,04
11	0,5	0,0001	0,43	0,6	0,6	0,45	0,05	0,0001	0,03	0,05	0,03	0,03
12	2,4	0,2	2,0	4,2	4,2	3,27	0,7	0,07	0,46	0,15	0,07	0,07
13	1,3	0,1	1,0	5,2	5,2	4,06	1,1	0,14	0,9	0,21	0,11	0,11
14	0,7	0,0001	0,6	0,7	0,7	0,55	0,07	0,0001	0,05	0,07	0,05	0,05
15	0,8	0,0001	0,7	0,9	0,9	0,7	0,08	0,0001	0,05	0,06	0,03	0,03
16	0,9	0,0001	0,8	0,8	0,8	0,6	0,09	0,0001	0,06	0,08	0,04	0,04
17	0,6	0,0001	0,5	0,6	0,6	0,45	0,06	0,0001	0,04	0,06	0,03	0,03
18	2,1	0,2	1,8	5,0	5,0	0,38	0,66	0,07	0,43	0,1	0,05	0,05
19	1,5	0,1	1,3	3,5	3,5	2,63	0,46	0,05	0,29	0,04	0,02	0,02
20	4,0	0,4	3,4	7,0	7,0	5,3	1,1	0,1	0,7	0,15	0,07	0,07
21	3,3	0,33	1,3	4,2	4,2	3,2	1,8	0,18	0,9	0,41	0,22	0,22
22	2,6	0,3	2,0	5,2	5,1	2,27	0,85	0,075	0,26	0,11	0,065	0,055
23	2,22	0,022	1,31	0,77	0,67	0,35	0,8	0,25	0,13	0,14	0,09	0,07
24	3,1	0,45	2,5	4,0	4,1	0,32	0,36	0,06	0,33	0,12	0,056	0,049
25	1,8	0,08	0,48	0,7	0,7	0,5	0,08	0,0001	0,05	0,06	0,03	0,03
26	0,6	0,001	0,33	0,8	0,8	0,35	0,04	0,0001	0,02	0,04	0,02	0,02
27	2,9	0,2	2,1	0,7	0,7	0,5	0,19	0,004	0,09	0,07	0,035	0,04
28	3,0	0,3	1,9	4,0	4,0	2,75	1,8	0,14	0,8	0,19	0,12	0,11
29	2,5	0,2	1,5	4,5	4,5	2,53	0,36	0,06	0,19	0,08	0,04	0,04
30	0,8	0,0003	0,67	0,59	0,39	0,29	0,19	0,0006	0,12	0,09	0,05	0,06

Контрольные вопросы:

1. Какое влияние оказывает транспорт на окружающую среду?
2. Что понимают под токсичностью выхлопных газов?
3. Назовите методы снижения уровня токсичности выхлопных газов.
4. Какие показатели учитываются при оценке суммарной токсичности выбросов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2
(раздел «Основы энергосбережения»)

**ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ВСТРОЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ
АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ**

Цель работы: научиться рассчитывать энергопотребление в офисном помещении административного здания.

Задание. Составить энергетический паспорт встроенного офисного помещения, используя следующую методику расчета (исходные данные представлены в таблице 6).

1. Рассчитать общую площадь окон, $F_{ок}$ (m^2).
2. Рассчитать площадь помещения, $F_{пом}$ (m^2).
3. Рассчитать объем помещения, $V_{пом}$ (m^3).
4. Рассчитать площадь наружной стены за вычетом площади оконных проемов, $F_{н.ст.}$ (m^2).

$$F_{н.ст.} = L \cdot H - F_{ок} . \quad (16)$$

5. Выбрать температуру воздуха внутри помещения.

Расчетная температура внутреннего воздуха помещения $t_{внут.}$ выбирается согласно ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» (табл. 7).

Таблица 7 – Расчетная температура внутреннего воздуха помещения

Здания	Расчетная температура, $t_{внут.}, ^\circ C$	Относительная влажность, %
Жилые	18	55
Общественные (кроме помещений с мокрым климатом, дошкольн. и лечебных учреждений.)	18	50
Административные и бытовые здания	18	50

Для расчёта отопления принимаем $t_{вн.} = 18 ^\circ C$.

6. Выбрать климатические характеристики региона.

Климатические характеристики региона выбираем из таблицы 8 (ТКП 45-2.04-43-2006): средние параметры наружного воздуха за отопительный период t_n $^\circ C$ со средней суточной температурой воздуха $\leq 8 ^\circ C$ и продолжительность отопительного периода Z (сут.) со средней суточной температурой воздуха $\leq 8 ^\circ C$.

7. Рассчитать количество градусо-суток отопительного периода D , $^\circ C \cdot \text{сут}$, по формуле

$$D = (t_{вн.} - t_n) \cdot Z . \quad (17)$$

Полная длительность отопительного периода

$$\tau = Z * 24 \text{ (ч)}. \quad (18)$$

Таблица 8 – Климатические характеристики региона

Область	Средняя температура наружного воздуха, t_n °С	Продолжительность отопительного периода Z, сут.
Брестская	0,2	187
Витебская	-2,0	207
Гомельская	-1,6	194
Гродненская	-0,5	194
Минская	-1,6	202
Могилевская	-1,9	204

8. Расчет теплопотерь через окна.

Сопротивление теплопередаче окон и балконных дверей $R_{\text{окон}}=R_T$ определяется по таблице 9 (таблица Г.1 приложения Г (справочное) ТКП 45-2.04-43-2006).

Таблица 9 – Сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов

Заполнение светового проема	Сопротивление теплопередаче R_T , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
1 Одинарное остекление в деревянных переплетах	0,18
2 Одинарное остекление в металлических переплетах	0,15
3 Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	0,39
4 Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах	0,42
5 Двойное остекление в металлических отдельных переплетах	0,34
6 Двойное остекление витрин в металлических отдельных переплетах	0,31
7 Тройное остекление в деревянных раздельноспаренных переплетах	0,55
8 Тройное остекление окон в металлических отдельных переплетах	0,46
9 Органическое стекло одинарное	0,19
10 Органическое стекло двойное	0,36
11 Органическое стекло тройное	0,52
12 Двухслойные стеклопакеты в деревянных переплетах	0,36
13 Двухслойные стеклопакеты в металлических переплетах	0,31
14 Двухслойные стеклопакеты и одинарное остекление в отдельных деревянных переплетах	0,53

Потери тепла через окна за отопительный период рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{ок}} = \frac{1}{R_{\text{ок}}} \cdot F_{\text{ок}} \cdot D \cdot (1 + \sum \beta_1) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \text{ МДж}, \quad (19)$$

где $\sum \beta_1$ – добавочные потери теплоты через окна в долях от основных потерь (принимается, что все окна выходят на север, тогда $\sum \beta_1 = 0,18$).

9. Расчет теплопотерь через наружные стены.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (наружной стены) $R_{стен}$, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, следует определять по формуле

$$R_{стен} = \frac{1}{\alpha_B} + R_K + \frac{1}{\alpha_H}, \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт, \quad (20)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, $Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$ (принимается равным $8,7 \text{ Вт} / (м^2 \cdot ^\circ C)$); R_K – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, $Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$ (принимается для наружных стен $23 \text{ Вт} / (м^2 \cdot ^\circ C)$).

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями R_K , $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, следует определять по формуле

$$R_K = R_1 + R_2 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \quad (21)$$

где R_1 , R_2 – термическое сопротивление отдельных слоев конструкции, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$; δ – толщина слоя, $м$; λ – коэффициент теплопроводности материала или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации (выбираем из таблицы 10, $Вт / (м \cdot ^\circ C)$, данные согласно ТКП 45-2.04-43-2006).

Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

10. Потери тепла через наружные стены за отопительный период равны:

$$Q_{стен} = \frac{1}{R_{стен}} \cdot F_{н.ст.} \cdot D \cdot (1 + \sum \beta_2) \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 10^{-6}, \text{ МДж}, \quad (22)$$

где $\sum \beta_2$ – добавочные потери теплоты через наружные стены в долях от основных потерь (принимается, что стена выходит на север, тогда $\sum \beta_2 = 0,23$).

Затратами тепла на нагрев приточного воздуха – пренебрегаем.

11. Суммарные потери тепла за отопительный период:

$$Q_{от.} = Q_{ок} + Q_{стен.} \quad (23)$$

Таблица 10 – Коэффициенты теплопроводности материалов

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчетное массовое отношение влаги в материале W , %	Расчетные коэффициенты		
	Плотность ρ , кг/м ³	Удельная теплоемкость c , кДж/(кг·°C)	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)		Теплопроводности λ , Вт/(м·°C)	Теплуосвоения s , Вт/(м ² ·°C) (при периоде 24 ч)	Паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
Железобетон	2500	0,84	1,69	3	1,92	19,70	0,03
Кладка из сплошного кирпича глиняного обычн. на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	2	0,70	10,12	0,11
Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом связующем	250	0,84	0,057	2,0	0,061	1,08	0,45

12. Поступление тепла от оборудования, от людей и от освещения.

Мощность теплоступлений от оборудования и от освещения равна

– от оборудования (учтено, что МФУ работает неполный рабочий день)

$$q_{\text{обор.}} = N_{\text{ЭВМ}} \cdot W_{\text{ЭВМ}} + N_{\text{МФУ}} \cdot \frac{W_{\text{МФУ}} \cdot T}{8}, \quad (24)$$

где $N_{\text{ЭВМ}}$, $N_{\text{МФУ}}$ – соответственно количество установленных компьютеров, МФУ, шт.; $W_{\text{ЭВМ}}$, $W_{\text{МФУ}}$ – потребляемая мощность за рабочий день соответственно ЭВМ, МФУ, Вт; T – количество часов работы МФУ, ч;

– от освещения

$$q_{\text{осв.}} = N_{\text{свет}} \cdot N_{\text{ламп}} \cdot W_{\text{ламп}}, \quad (25)$$

где $N_{\text{свет}}$, $N_{\text{ламп}}$ – соответственно количество светильников, ламп в одном светильнике, шт.; $W_{\text{ламп}}$ – потребляемая мощность одной лампы, Вт.

13. Поступление тепла в помещение за отопительный период составит

$$Q_{\text{быт}} = (q_{\text{обор.}} + q_{\text{осв.}}) \cdot t_{\text{раб}} \cdot 3600 \cdot 10^{-6} \text{ МДж}, \quad (26)$$

где $t_{\text{раб}}$ – количество рабочих часов в отопительный период.

$$t_{\text{раб}} = \frac{8\text{ч} \cdot 5\text{дн}}{24\text{ч} \cdot 7\text{дн}} \cdot \tau, \text{ ч}, \quad (27)$$

где τ – полная длительность отопительного сезона (формула 18).

Для упрощения расчетов теплоступление от людей не учитывать.

14. Потребность в тепловой энергии на отопление помещения.

Потребность в тепловой энергии на отопление помещения за отопительный период определяется по формуле

$$Q_{\text{отопл}} = Q_{\text{ок}} + Q_{\text{стен}} - Q_{\text{быт}} \cdot \nu, \text{ МДж},$$

где ν – коэффициент снижения теплоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемое значение $\nu = 0,8$.

15. Фактический удельный расход тепловой энергии на отопление помещения за отопительный период $q_{\text{отоп.пер}}$, кДж/(м³·°С·сут), определяем по формуле

$$q_{\text{отоп.пер}} = \frac{Q_{\text{отопл}}}{V_{\text{пом}} \cdot D} \cdot 10^3, \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}). \quad (28)$$

Контрольные вопросы:

1. Что такое энергосбережение?
2. Какие источники теплопотерь вы знаете?
3. Как уменьшить теплопотери во встроенном административном здании?

Таблица 11 – Исходные данные для расчёта

№ варианта	Размер окон, м	Заполнение светового проема	Количество окон	Размер наружной стены, м	Материал стены	Размер помещения, Ш/Г/В, м	Оборудование. Режим работы, часов в сутки	Искусственное освещение
1	1,33 x 1,56	Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах	1	4,2 x 3,3	двухслойная: 15 см железобетона, потом 10 см стекловаты	4,2/6/3,3	3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч	6 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
2	1,79 x 1,77		1	4,2 x 3,3		4,2/6/3,3	4 компьютеров W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 2 ч	
3	1,79 x 1,77		1	4,2 x 3,3		4,2/4,6/3,3	2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 2 ч	
4	2,36 x 1,76		1	4,5 x 3,3		4,5/4,5/3,3	4 компьютеров W=300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	
5	1,51 x 1,48	Тройное остекление в деревянных раздельноспаренных переплетах	2	4,2 x 3,3		4,2/6/3,3	5 компьютеров W=300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W=100 Вт режим – 2 ч	4 светильника ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
6	3 x 1,2		1	3,5 x 3,3		3,5/4,5/3,3	4 компьютера W=300 Вт, режим – 6 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 1 ч	
7	2,5 x 1,7		1	3,5 x 3,3		3,5/5,5/3,3	3 компьютеров W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 2 ч	

Продолжение таблицы 11

8	2,94 x 2,94	Тройное остекление в деревянных раздельноспаренных переплетах	2	4,2 x 3,3		4,2/6,5/3,3	2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	6 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
9	3,94 x 3,94	Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	2	4,2 x 3,3		4,2/6/3,3	4 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	
10	3 x 1,2		1	4,2 x 3,3		4,2/6,5/3,3	3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W=100 Вт режим – 3 ч	
11	2,36 x 1,76		2	3,5 x 3,3	Двухслойная: 12,5 см кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе потом 10 см стекловаты	3,5/4,5/3,3	2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	4 светильника ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
12	1,79 x 1,77	2	3,5 x 3,3	3,5/5,2/3,3		4 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 8 ч		
13	1,79 x 1,77	1	4,8 x 3,3	4,8/5,8/3,3		3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 5 ч	8 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА	
14	2,5 x 1,7	1	4,8 x 3,3	4,8/6/3,3	4 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 3 МФУ, W=100 Вт режим – 3 ч			
15	1,79 x 1,77	Двухслойные стеклопакеты в деревянных переплетах	1	4,2 x 3,3		4,2/6,2/3,3	3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 1 ч	6 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
16	2,96 x 1,77		1	4,2 x 3,3		4,2/4,2/3,3	3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	
17	2,94 x 2,94		1	4,2 x 3,3		4,2/6,5/3,3	2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	

Окончание таблицы 11

18	3,94 x 3,94	Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	1	4,2 x 3,3	двухслойная: 15 см железобетона, потом 10 см стекловаты	4,2/6/3,3	2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	4 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
19	3 x 1,2		1	4,2 x 3,3		4,2/6,5/3,3	4 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 3 ч	
20	2,36 x 1,76		1	3,5 x 3,3	Двухслойная: 12,5 см кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе потом 10 см стекловаты	3,5/4,5/3,3	2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	8 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
21	1,79 x 1,77		2	3,5 x 3,3		3,5/5,2/3,3	4 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 8 ч	
22	1,79 x 1,77	1	4,8 x 3,3	4,8/5,8/3,3		3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 1 МФУ, W=100 Вт режим – 5 ч	6 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА	
23	2,5 x 1,7	1	4,8 x 3,3	4,8/6/3,3		3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 3 МФУ, W=100 Вт режим – 3 ч		
24	1,79 x 1,77	Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах	1	4,2 x 3,3		4,2/6,2/3,3	3 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 3 МФУ, W=100 Вт режим – 1 ч	6 светильников ЛВО05-4x18-031 OPL HF с ЭПРА
25	2,96 x 1,77		1	4,2 x 3,3		4,2/4,2/3,3	2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W=100 Вт режим – 4 ч	
26	1,79 x 1,77		2	4,8 x 3,3			2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч, без МФУ	
27	2,5 x 1,7	Тройное остекление окон в металлических отдельных переплетах	1	4,2 x 3,3		2 компьютера W=300 Вт, режим – 8 ч 2 МФУ, W=100 Вт режим – 3 ч		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

(раздел «Защита населения. Радиационная безопасность»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Цель работы: изучить характеристики дозиметрических приборов АНРИ-01-02 «Сосна» и РАДЭКС РД1503, научиться с их помощью измерять мощность экспозиционной дозы гамма-излучения.

Основные теоретические положения

Ионизация – это явление (процесс) образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул. Ионизирующее излучение – потоки частиц и электромагнитных квантов, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул. Ионизирующие излучения делятся на фотонные (электромагнитные) и корпускулярные (поток частиц), а по механизму воздействия на вещество они могут быть непосредственно или косвенно ионизирующими.

Фотонное излучение представляет собой электромагнитное излучение – это гамма-излучение, рентгеновское и тормозное излучение. Фотонное излучение имеет такую же природу образования, как и видимый свет или радиоволны, но отличается от них меньшей длиной волны. С возрастанием частоты энергия квантов электромагнитного поля (фотонов), а, следовательно, и их разрушительное влияние на молекулы вещества возрастает.

Длина волны λ рентгеновского излучения лежит в диапазоне от 10–100 нм до 0,01–1 пм, а гамма-излучения – менее 0,1 пм.

Явление самопроизвольного (спонтанного) изменения структуры ядра атома одного элемента и превращение его в более устойчивое ядро атома другого элемента называется *радиоактивностью*, а само неустойчивое ядро – *радиоактивным*.

Радиоактивность характеризуется сортом и энергией вылетающих частиц, длительностью протекания процесса (постоянная распада λ , среднее время жизни τ , период полураспада $T_{1/2}$).

Существует два вида радиоактивного распада – *альфа* (α) и *бета* (β). Бета- и гамма-радиоактивность присуща и легким, и средним, и тяжелым ядрам, альфа-радиоактивность встречается только среди тяжелых ядер. Принято говорить о *естественной* и *искусственной радиоактивности* (возникновение искусственной радиоактивности произошло из-за человеческой деятельности – создание ускорителей и реакторов). В настоящее время большинство радиоактивных ядер произведено искусственным путем.

Каждый такой отдельный акт самопроизвольного превращения ядер с испусканием элементарных частиц или их групп называется *радиоактивным распадом*. Если радиоактивный распад сопровождается испусканием альфа-частиц, он называется *альфа-распадом*; бета-частиц – *бета-распадом*.

Альфа- и бета-распад обычно сопровождаются *гамма-излучением*. Возникающие при самостоятельных превращениях ядер атомов потоки элементарных частиц или их групп являются *ионизирующими излучениями*.

Источником гамма-излучения являются возбужденные ядра, образованные в результате альфа-, бета-распада или других радиоактивных превращений.

Гамма-излучение – коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны $\lambda \leq 10^{-10}$ м (0,1 нм). Это излучение имеет квантовый характер, т. е. испускается и распространяется в среде и поглощается веществом в виде отдельных дискретных квантов-фотонов. Фотон с энергией больше 100 кэВ обычно называется *гамма-квантом*.

Гамма-кванты не обладают ни зарядом, ни массой покоя. Их испускание не приводит к образованию ядер новых элементов. Возбужденное и стабильное ядро одного элемента отличается только энергией, т. е. при гамма-переходах изменение зарядового числа Z и массового числа A не происходит.

В качестве характеристики воздействия фотонного излучения с энергией от 5 кэВ до 3 МэВ на окружающую среду используют экспозиционную дозу X .

Экспозиционная доза – это отношение приращения суммарного заряда всех ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, которые первоначально были образованы фотонами гамма-излучения в элементарном объёме воздуха к массе воздуха в этом объёме:

$$X = \frac{dV}{dm} \quad (29)$$

Системная единица (СИ) экспозиционной дозы – 1 Кл/кг (кулон на килограмм), внесистемная единица – 1 Р (рентген).

$$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р.}$$

Мощность экспозиционной дозы – это отношение приращения экспозиционной дозы за интервал времени к этому интервалу времени:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \quad (30)$$

Мощность экспозиционной дозы обычно выражается во внесистемных единицах – Р/ч (рентген в час), мР/ч (миллирентген в час), мкР/ч (микрорентген в час).

Системными единицами мощности экспозиционной дозы является 1 А/кг (ампер на килограмм):

$$1 \text{ А/кг} = 1,08 \cdot 10^7 \text{ Р/ч} = 1,08 \cdot 10^{13} \text{ мкР/ч.}$$

Отличительная особенность экспозиционной дозы заключается в том, что она определяется только в воздухе и образуется под действием только гамма-излучения.

Экспозиционная доза, которая создается естественными источниками, образует естественный фон на всей поверхности земного шара.

Естественный фон излучения – это доза ионизирующего излучения, создаваемая космическим излучением и излучением естественно распределённых природных радиоактивных элементов.

Космическое излучение, которое постоянно воздействует на атмосферу Земли, называется первичным. В составе первичного космического излучения обнаружены около 200 различных видов элементарных частиц, альфа-частицы, осколки лёгких ядер и фотоны с энергиями до 10^{12} МэВ.

Космическое излучение, которое достигает поверхности Земли после взаимодействия с атмосферой, называется вторичным и состоит из гамма-фотонов с энергией до 3 МэВ. Остальная энергия первичного космического излучения затрачивается на ионизацию верхних слоёв атмосферы.

Естественными радиоактивными веществами считают те, которые образовались и постоянно вновь образуются без участия человека. В первую очередь это долгоживущие (с большим периодом полураспада) радиоактивные элементы, которые образовались одновременно с образованием Земли: калий-40 (период полураспада $1,3 \cdot 10^9$ лет), кальций-48 (период полураспада $2 \cdot 10^{16}$ лет), рубидий-87 (период полураспада $6,2 \cdot 10^{10}$ лет), олово-124 (период полураспада $2 \cdot 10^{17}$ лет), теллур-130 (период полураспада $1 \cdot 10^{21}$ лет), лантан-138 (период полураспада $2 \cdot 10^{11}$ лет), висмут-209 (период полураспада $3 \cdot 10^{17}$ лет), торий-232 (период полураспада $1,4 \cdot 10^{10}$ лет), уран-235 (период полураспада $1,13 \cdot 10^8$ лет), уран-238 (период полураспада $4,5 \cdot 10^9$ лет), всего 23 элемента.

К естественным радиоактивным элементам относятся также радионуклиды, образующиеся в верхних слоях атмосферы под действием первичного космического излучения: углерод-14, сера-35, хлор-36, тритий (водород-3), кислород-18.

В настоящее время известно более 100 естественных радионуклидов. Поскольку по химическим свойствам радиоизотопы не отличаются от стабильных, они обнаруживаются в растениях, а также организмах животных и человека.

В земной коре радионуклиды равномерно рассеяны, но могут быть сконцентрированы в виде месторождений.

Максимальное содержание в земной коре имеет калий-40 – около 2,5 %, содержание тория-232 – $1,3 \cdot 10^{-3}$ %, содержание всех изотопов урана – $2,6 \cdot 10^{-4}$ %. Естественные радионуклиды содержатся в земной коре в количестве от 0,0005 (рений-187) до 84 (рубидий-87) грамма на тонну. Поэтому в величину естественного фона основной вклад вносит космическое излучение. Наибольшее влияние из естественных изотопов на величину естественного фона оказывает калий-40, затем следуют рубидий-87, уран-238, торий-232, уран-235, лантан-138. Остальные радионуклиды играют гораздо меньшую роль вследствие либо большого периода полураспада (10^{16} – 10^{21} лет), либо из-за очень низкого содержания в земной коре.

Следует отметить, что в смеси изотопов данного элемента содержание радионуклидов постоянно. Так, например, содержание калия-40 в смеси изотопов калия составляет $1,19 \cdot 10^{-2}$ %, рубидия-87 – 27,85 %. У висмута, тория и урана все изотопы радиоактивны.

Начиная с 1934 года, помимо естественных изотопов, были получены искусственные радионуклиды, которые образуются при бомбардировке стабильных ядер альфа-частицами или нейтронами в ядерных реакторах, а также в результате ядерных взрывов. Искусственным путём созданы радиоизотопы всех известных элементов.

В связи с этим образуется радиационный фон, который отличается от естественного.

Фон – это доза ионизирующего излучения, которая создается естественным фоном и излучением посторонних источников.

В глобальном масштабе посторонними источниками являются искусственные радионуклиды, которые были выброшены в окружающую среду в результате испытаний ядерного оружия.

В любом помещении измеряется фон, так как там посторонними источниками являются продукты распада естественных изотопов, содержащихся в строительных материалах, т. е. в результате деятельности человека происходит накопление радиоизотопов в помещении или вблизи зданий и сооружений. Кроме того, строительные конструкции частично экранируют естественный фон. Фон в помещении, следовательно, может быть, как больше, так и меньше естественного.

Естественный фон определяется не ближе 200 метров к любым зданиям и сооружениям.

Радиационный фон Земли складывается из естественного (природного) радиационного фона, технологически измененного естественного радиационного фона и искусственного радиационного фона. В настоящее время на территории СНГ мощность эквивалентной (экспозиционной) дозы, или природный радиационный фон, в среднем составляет 0,05–0,50 мкЗв/ч (5–50 мкР/ч), а для Беларуси – 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч). Естественный радиационный фон в пределах: 0,1–0,2 мкЗв/ч (10–20 мкР/ч) признано считать нормальным; фон 0,2–0,6 мкЗв/ч (20–60 мкР/ч) считается допустимым; фон свыше 0,6–1,2 мкЗв/ч (60–120 мкР/ч) – повышенным.

Используемые приборы

Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503 (рис. 4)

Технические характеристики:

Диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы от 0,05 до 9,99 мкЗв/ч.

Диапазон измерений мощности экспозиционной дозы от 5 до 999 мкР/ч.

Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения от 0,1 до 1,25 МэВ.

Время измерения – $40 \pm 0,5$ с.

Время индикации показаний – непрерывно.

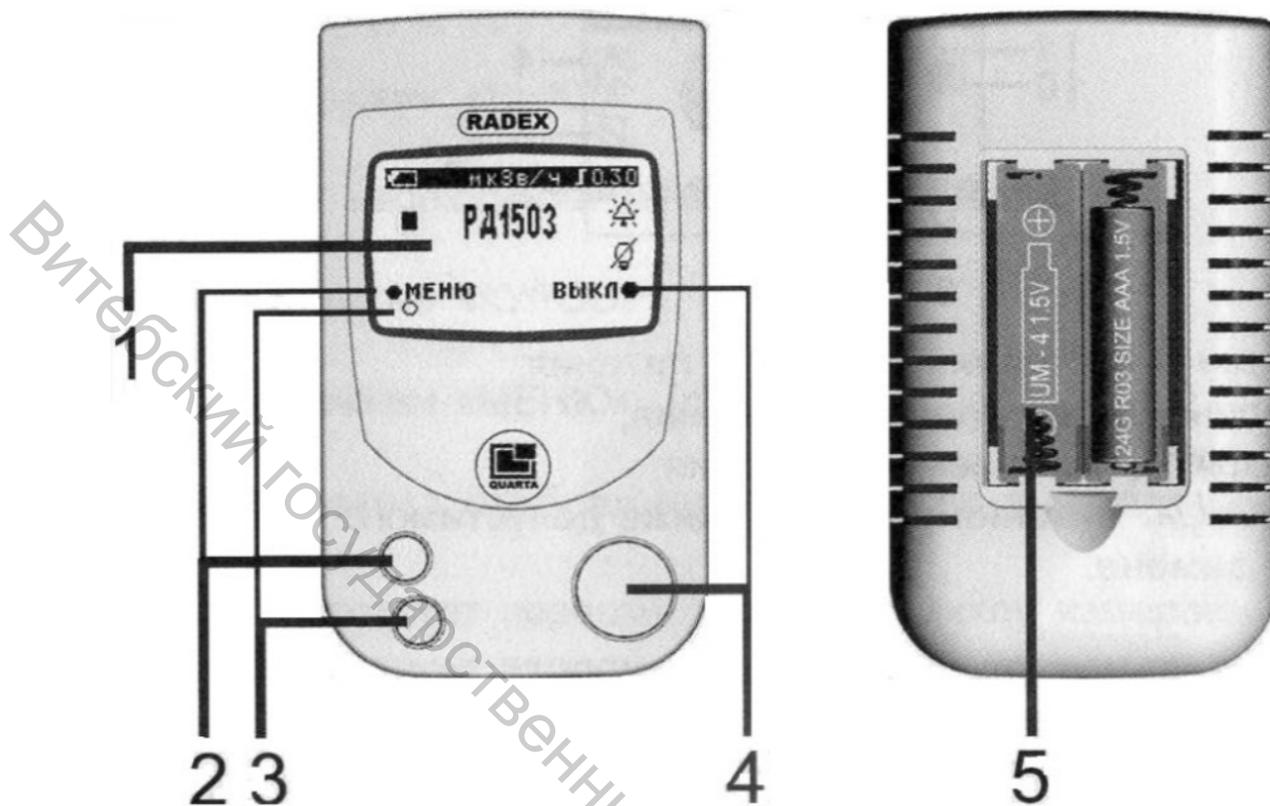


Рисунок 4 – Индикатор радиоактивности РАДЭКС РД1503:
 1 – ЖК-дисплей; 2 – кнопка «МЕНЮ» и её пиктограмма на дисплее;
 3 – кнопка «КУРСОР» и её пиктограмма на дисплее; 4 – кнопка «ВЫКЛ»
 и её пиктограмма на дисплее; 5 – батарейный отсек

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА»

Дозиметр-радиометр бытовой АНРИ-01-02 «СОСНА» (рис. 5) предназначен для индивидуального использования для контроля радиационной обстановки на местности, в жилых и рабочих помещениях, в том числе:

- измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД);
- измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей;
- оценки объемной активности радионуклидов в веществах.

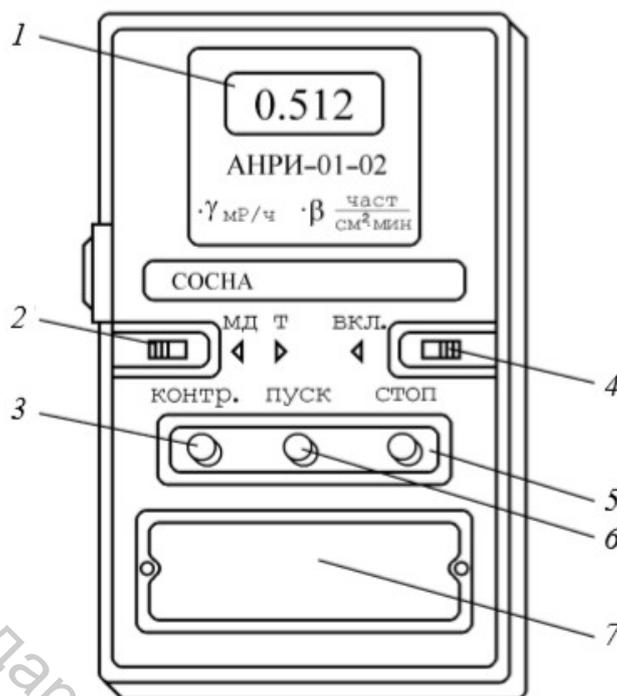


Рисунок 5 – Внешний вид дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «СОСНА»:
 1 – цифровой индикатор; 2 – переключатель режимов работы; 3 – кнопка проверки прибора; 4 – кнопка включения и выключения прибора; 5 – кнопка остановки измерений; 6 – кнопка запуска измерений;
 7 – отсек питания с легкоъемной крышкой

Блок детектирования и измерительный блок смонтированы в едином пластмассовом корпусе размером 45×88×133 мм. Детектирование излучения осуществляется двумя газоразрядными цилиндрическими счетчиками Гейгера – Мюллера типа СБМ-20. Для индикации результатов измерений в приборе используется жидкокристаллический цифровой индикатор 1. Управление прибором осуществляется переключателем режимов работы 2, кнопками 3 – «КОНТР.», 6 – «ПУСК», 5 – «СТОП», выключателем 4. Источником питания служит батарея постоянного тока напряжением 9В типа «Корунд», размещенная в отсеке для питания, закрытом легкоъемной крышкой 7.

Технические данные и характеристики прибора:

Диапазон измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения – 0,010–9,999 мР/ч.

Диапазон измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей – 10–5000 частиц / (см² · мин).

Диапазон оценки объемной активности растворов (по изотопу цезий-137): 5 · 10⁻⁸ – 10⁻⁶ Ки/л (1,85 · 10³ – 3,7 · 10⁴ Бк/л).

Основная относительная погрешность измерения:

– мощности экспозиционной дозы гамма-излучения по цезию-137 не более ± 30 %;

– плотности потока бета-частиц от твердого плоского источника стронция-90 и иттрий-90 не более $\pm 45\%$.

Требования охраны труда при выполнении лабораторной работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда и технике безопасности.

При работе с приборами запрещается:

Оставлять приборы без присмотра.

Работать с приборами, у которых сняты защитные крышки.

Самостоятельно устранять неисправность приборов.

Заметив нарушения кем-либо инструкции по технике безопасности, не оставайтесь к этому безучастным и предупредите нарушителя о необходимости соблюдать требования охраны труда и пожарной безопасности.

Порядок проведения работы

Измерение мощности экспозиционной дозы с помощью индикатора радиоактивности РАДЭКС РД1503

Подготовить прибор к работе.

1. Включите прибор, для чего нажмите большую кнопку (поз. 4 рис. 4). На дисплее разворачивается «экран РД1503» (поз. 1 рис. 4) и начинается оценка радиационной обстановки. Результат наблюдения появляется на дисплее через 10 секунд.

2. Для входа в меню и изменения размерность измерений, а также других настроек, нажмите кнопку «МЕНЮ» (поз. 2 рис. 4). Кнопка имеет три функции: «МЕНЮ», «ВЫБОР», «ИЗМЕН». Появляется содержание меню. По умолчанию установлено:

- размерность – мкЗв/ч;
- порог – 0,30 мкЗв/ч;
- звук – тихо;
- подсветка – выключена.

Для перемещения курсора по пунктам меню и выбираемым значениям используйте кнопку «КУРСОР», нажимая на края кнопки (поз. 3 рис. 4).

ВЫБОР пункта меню и его изменение осуществляется кнопкой «МЕНЮ».

ВЫХОД из меню осуществляется кнопкой «ВЫКЛ» (поз. 4).

3. Установите курсор на надпись «Размерность» и нажмите кнопку «МЕНЮ» для последующего изменения.

4. Выберите с помощью кнопки «КУРСОР» необходимые для проведения эксперимента единицы измерения (мкР/ч) и нажмите кнопку «МЕНЮ» для изменения.

5. Вернитесь в главное меню, нажав кнопку «ВЫКЛ» (поз. 4).

6. Через 10 секунд на дисплее выводится первый результат короткого цикла и пиктограммы:

..	– соответствует первому короткому циклу измерения;
	– соответствует второму короткому циклу измерения;
	– соответствует третьему короткому.

Короткий цикл измерения равен 10 с и предназначен для быстрого получения предварительных результатов. Наиболее достоверный результат выводится на дисплей после первого (40 с) цикла измерения и отображается пиктограммой « | ».

	– соответствует одному циклу измерения;
	– соответствует двум циклам измерения;
	– соответствует трём циклам измерения;
	– соответствует четырём и более циклам измерения.

Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов.

7. Проведите 10 циклов наблюдений, записывая показания каждого цикла измерений в таблицу 12.

8. После проведения измерений выключите прибор.

Измерение мощности экспозиционной дозы с помощью дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «Сосна»

Подготовить прибор к работе

1. Переведите переключатель режима работы (поз. 3) в положение «МД».

2. Включите прибор, для чего выключатель питания (поз. 2 рис. 5) переведите в положение «ВКЛ». На цифровом табло должно индицироваться:

или

0.000

0000

включение прибора должно сопровождаться коротким звуковым сигналом. Если переключатель режима работы (поз. 3, рис. 5) находится в положении «МД», то после первого знака индицируется точка, если переключатель находится в положении «Т», то эта точка отсутствует.

3. Если прибор после включения издает постоянный звуковой сигнал, то необходимо установить новый элемент питания.

4. Убедитесь в исправности электронной пересчетной схемы и таймера прибора, для чего переключатель режима работы (поз. 3) должен быть в положение «МД». Нажмите кнопку «КОНТР.» (поз. 4) и удерживайте ее в нажатом состоянии до конца проведения контрольной проверки, а затем кратковременно нажмите кнопку «пуск» (поз. 5). На цифровом табло должны появиться три точки между цифровыми знаками и начаться отсчет чисел. Через

(20±5) с отсчет чисел должен прекратиться, окончание отсчета должно сопровождаться коротким звуковым сигналом, а на табло должно индцироваться число

– для двух детекторов –

1.024

– для четырех детекторов –

0.512

После окончания отсчета отпустите кнопку «контр.».

5. Если при проведении контрольного теста индцируемое число отличается от указанного выше повторить еще раз контрольную проверку, как указано в пункте 4.

Работа в режиме измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучения.

1. Подготовьте прибор к работе как описано выше.

2. Нажмите кратковременно кнопку «пуск». При этом на цифровом табло должны появиться точки после каждого разряда

0.0.0.0.

и начаться счет импульсов.

3. Через 20±5 секунд измерение закончится, что будет сопровождаться звуковым сигналом, а на цифровом табло фиксируется число с одной точкой, например

0.012

Это показание прибора соответствует мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в миллирентгенах в час (мР/ч). Для математической обработки результатов удобнее использовать целые числа, поэтому показания прибора необходимо умножить на 1000, что будет соответствовать мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в микрорентгенах в час (мкР/ч).

4. Показание на цифровом табло сохранится до повторного нажатия на кнопку «пуск», пока не будет выключен прибор.

5. Повторите измерение 10 раз. Для выполнения повторного измерения необходимо кратковременно нажать кнопку «пуск», не выключая прибор. Полученные результаты занесите в таблицу 12.

6. После проведения измерений выключите прибор выключателем питания.

Общие рекомендации. После результатов замеров провести статистическую обработку результатов, т. к. взаимодействие ионизирующих излучений с веществом носит случайный характер, поэтому при малых значениях мощности экспозиционной дозы (на уровне естественного фона) может наблюдаться значительный разброс полученных результатов.

Таблица 12 – Результаты замеров и статистической оценки данных

№ п/п прибор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее \bar{Y}	Дисперсия $S^2(Y)$	СКО $S(Y)$	Коеф-т вариации $C(Y)$
Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч (РАДЭКС РД1503)														
Мощность экспозиционной дозы, мкР/ч (АНРИ-01-02 "Сосна")														

Статистическая обработка данных

1. Проверка наличия резко выделяющихся значений

Для исключения резко выделяющихся значений используют статистический метод исключения данных, сущность которого заключается в следующем:

– находят в совокупности максимальную и минимальную величины и определяют расчетные значения критерия Смирнова-Граббса:

$$V_{R\max} = \frac{Y_{\max} - \bar{Y}}{S(Y)} \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (31)$$

$$V_{R\min} = \frac{\bar{Y} - Y_{\min}}{S(Y)} \sqrt{\frac{m}{m-1}} \quad (32)$$

– сравнивают расчетные значения V_R с табличным V_T (табл. 13).

Если $V_{R\max} > V_T$ или $V_{R\min} > V_T$, то соответствующее резко выделяющееся значение Y необходимо исключить из ряда данных.

Если $V_{R\max} < V_T$ или $V_{R\min} < V_T$, то Y_{\max} и Y_{\min} не являются резко выделяющимися значениями.

Таблица 13 – Критические значения критерия Смирнова-Граббса V_T

Число измерений	Уровень доверительной вероятности P_D		
	0,99	0,95	0,90
<i>m</i>			
3	1,414	1,412	1,406
4	1,723	1,689	1,645
5	1,955	1,869	1,791
6	2,130	1,996	1,894
7	2,265	2,093	1,974
8	2,374	2,172	2,041
9	2,464	2,237	2,097
10	2,540	2,294	2,146

2. Расчет оценок: среднего – \bar{Y} , дисперсии – $S^2(Y)$, среднего квадратического отклонения (СКО) – $S(Y)$, коэффициента вариации $C(Y)$ по следующим формулам:

– среднее \bar{Y}

$$Y = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_i ; \quad (33)$$

где m – количество измерений (в нашем примере $m=10$);

– дисперсия $S^2(Y)$

$$S^2(Y) = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2 ; \quad (34)$$

– среднее квадратическое отклонение (СКО)

$$S(Y) = \sqrt{S^2(Y)}; \quad (35)$$

– коэффициент вариации $C(Y)$

$S(Y)$

$$C(Y) = \frac{S(Y)}{\bar{Y}} \cdot 100 . \quad (36)$$

Результаты статистической оценки данных записать в таблицу 12.

3. Расчет величины относительной погрешности измерений

– относительная доверительная ошибка

$$\delta(Y) = \frac{2 \cdot C(Y)}{\sqrt{m}} . \quad (37)$$

Проанализировать полученное значение, сравнив его с данными таблицы 14 и сделать вывод о точности полученных измерений.

Таблица 14 – Оценка точности результатов исследований

Относительная ошибка $\delta\{\bar{Y}\}$, %	Точность
≤ 2	высокая
$2 \div 5$	средняя
$5 \div 10$	низкая
> 10	очень низкая (недопустимая)

4. Определить требуемое количество измерений на приборе при заданной точности ($\delta(Y) = 5\%$), т. е. необходимое количество повторных измерений для получения результатов со средней точностью (в формулу подставляем желаемое значение $\delta(Y)$):

$$m(Y) \geq \left(\frac{u\{P_D\} \cdot C(Y)}{\delta(Y)} \right)^2, \quad (38)$$

где $u\{P_D\}$ – квантиль распределения случайной величины (для доверительной вероятности $P_D = 0,95$ квантиль $u\{P_D\} = 1,96$).

По результатам расчёта сделать вывод о количестве необходимых дополнительных измерений.

5. Оценка однородности полученных данных (для измерений с двух приборов) проводят по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ при } S_1^2 > S_2^2$$

или

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} \text{ при } S_2^2 > S_1^2. \quad (39)$$

Выбрать из таблицы 15 критическое значение критерия Фишера F_T и сравнить его с расчетным значением F_T , сделать вывод.

Если $F < F_T$, то приборы дают однородные показания.

Если $F > F_T$, то приборы дают отличные друг от друга показания.

Таблица 15 – Критические значения критерия Фишера F_T

Степень свободы для меньшей дисперсии $f_1 = m_1 - 1$	Степень свободы для большей дисперсии $f_2 = m_2 - 1$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98

Контрольные вопросы:

1. Что такое радиоактивность?
2. Виды ионизирующих излучений.
3. Что такое гамма-излучение?
4. Экспозиционная доза.
5. Естественный фон излучения.
6. Искусственный фон излучения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 (раздел «Охрана труда»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель работы: ознакомиться с порядком нормирования естественного освещения, с приборами и методами определения качества естественного освещения на рабочих местах.

Общие сведения

Освещение – это использование световой солнечной энергии и искусственных источников света для обеспечения зрительного восприятия окружающего мира. Весь предметный мир, воспринимаемый органом зрения человека, образуется излучением, сосредоточенным в узкой полосе электромагнитных волн длиной от 380 до 760 нм, составляющих так называемую область видимых лучей.

Освещение производственных помещений подразделяется на естественное, искусственное и совмещенное.

Естественное освещение – это освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях.

Искусственное освещение – освещение, создаваемое устройствами, предназначенными для превращения какого-либо вида энергии в оптическое излучение.

Совмещенное освещение – это освещение, при котором недостаточное естественное освещение дополняется, как правило, искусственным в течение рабочего дня с автоматическим регулированием для обеспечения нормативного уровня освещенности рабочей поверхности.

Во всех производственных помещениях с постоянным пребыванием в них людей для работ в дневное время следует предусматривать естественное освещение, как более экономичное и совершенное с точки зрения санитарно-гигиенических требований по сравнению с искусственным освещением.

Для гигиенической оценки освещенности используют светотехнические качественные и количественные показатели.

Количественные показатели – световой поток, освещенность, коэффициент отражения, сила света и яркость.

Качественные показатели – фон, видимость, контраст.

Человеческий глаз воспринимает видимое излучение – часть спектра электромагнитных колебаний в диапазоне длин волн от 380 до 770 нм (от 380×10^{-9} м до 770×10^{-9} м).

Световой поток (F). Видимое излучение, оцениваемое по световому ощущению, которое оно производит на человеческий глаз, называется световым излучением, а мощность такого излучения – световым потоком.

Единицей измерения светового потока является люмен (лм), который имеет размерность кандела (кд) ×стерадиан (ср). Один люмен – это световой поток от эталонного точечного источника в одну международную свечу, помещенного в вершине телесного угла в 1стерадиан.

Стерадиан (ср) – единица телесного угла, представляющая собой пространственный угол, вырезающий на сфере радиуса 1 м поверхность площадью 1 м².

Сила света (I) – пространственная плотность светового потока F , численно равная отношению светового потока dF (лм), исходящего от точечного источника, к величине телесного угла $d\omega$ (ср), в пределах которого он распространяется:

$$I = \frac{dF}{d\omega}. \quad (40)$$

Освещенность – это поверхностная плотность светового потока, численно равная отношению светового потока dF , равномерно падающего на освещаемую поверхность, к площади этой поверхности dS

$$E = \frac{dF}{dS}. \quad (41)$$

Световой поток в 1 лм, равномерно распределенный на 1 м² плоской поверхности, равен 1 лк (люкс).

В природных условиях освещенность поверхности Земли в лунную ночь составляет примерно 0,2 лк, а в солнечный день доходит до 100 000 лк.

Яркость (L) – это поверхностная плотность силы света в данном направлении.

Единицей измерения яркости является кандела на 1 м² (кд/м²). Яркость является величиной, непосредственно воспринимаемой глазом человека.

Яркость объекта восприятия зависит от освещенности и его отражательной способности. Отражательная способность окружающих нас предметов неодинакова, поэтому при постоянстве солнечного освещения мы можем воспринимать множество оттенков окружающего нас мира.

Объект различения – это рассматриваемый предмет, отдельная его часть или дефект, которые требуется различать в процессе работы.

Естественное освещение подразделяется на боковое, верхнее и комбинированное.

Боковое естественное освещение – это естественное освещение помещения через световые проемы в наружных стенах.

Верхнее естественное освещение – это естественное освещение помещения через фонари, световые проемы в стенах в местах перепада высот здания.

Естественное освещение характерно тем, что создаваемая в помещении освещенность изменяется в широких пределах. Эти изменения

обуславливаются временем дня, временем года, метеорологическими факторами, т. е. состоянием облачности и отражающими способностями земного покрова. Поэтому характеризовать естественное освещение абсолютным значением освещенности на рабочих местах не представляется возможным.

В качестве нормируемой величины освещенности взята относительная величина – *коэффициент естественной освещенности (КЕО, %)*, который представляет собой отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным и после отражений от внутренних поверхностей помещения) E_i , к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода $E_{н.г.}$:

$$КЕО = \left(\frac{E_i}{E_{н.г.}} \right) 100 \% . \quad (42)$$

Нормирование естественного освещения осуществляется в соответствии с ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования».

Численные значения КЕО определяются с учетом следующих факторов: характеристика зрительной работы, системы освещения. Нормируемые значения $КЕО_{норм}$ приведены в приложении 1. Значения коэффициента естественной освещенности нормируется для каждого вида освещения. Нормированные значения $КЕО_N$ в зависимости от ориентации световых проемов помещения по сторонам света и условиям светового климата следует определять по формуле

$$КЕО_N = КЕО_{норм} \cdot m , \quad (43)$$

где $КЕО_{норм}$ – нормированное значение КЕО, приведенное в приложении А, %; m – коэффициент светового климата определяемый по таблице 16.

Световой климат – это совокупность условий естественного освещения в той или иной местности за период более десяти лет.

Нормируемое значение КЕО при одностороннем боковом освещении должно быть обеспечено:

- в учебных и учебно-производственных помещениях школ, школ-интернатов, профессионально-технических, средних специальных и высших учебных заведений

- в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1,2 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов;

- в производственных помещениях глубиной до 6,0 м в точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза

помещения и условной рабочей поверхности на расстоянии 1,0 м от стены или линии заглиблення зоны, наиболее удаленной от световых проемов;

– в крупногабаритных производственных помещениях глубиной более 6,0 м в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов:

– на 1,5 высоты от пола до верха световых проемов – для зрительных работ I–IV разрядов;

– на 2,0 высоты от пола до верха световых проемов – для зрительных работ V–VII разрядов;

– на 3,0 высоты от пола до верха световых проемов – для зрительных работ VIII разряда.

Таблица 16 – Значения коэффициента светового климата

Световые проемы	Ориентация световых проемов по сторонам горизонта	Коэффициент светового климата μ	
		Брестская область, Гомельская область	Остальная территория
В наружных стенах зданий	С, СВ, СЗ, В	0,9	1
	ЮВ, ЮЗ	0,85	1
	Ю	0,85	0,95
В прямоугольных и трапециевидных фонарях	С-Ю, 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

При *двухстороннем боковом* освещении помещений любого назначения от симметрично расположенных световых проемов нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено в центре помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза и рабочей поверхности.

При *верхнем* или *комбинированном* естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности (или плоскости пола). Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1,0 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.

Допускается деление помещений 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 производится независимо друг от друга.

Условная рабочая поверхность – условно принятая горизонтальная поверхность, расположенная на высоте 0,8 м от пола. Неравномерность естественного освещения – это отношение среднего значения к минимальному значению коэффициента естественного освещения в пределах характерного разреза помещения (при верхнем и комбинированном естественном освещении) и отношение максимального значения к минимальному значению

коэффициента естественного освещения в пределах характерного разреза помещения (при боковом освещении).

На количественную и качественную характеристики естественного освещения отрицательное влияние оказывает степень загрязненности заполнений световых проемов. В связи с этим необходима регулярная очистка стекол световых проемов в производственных помещениях не реже двух раз в год, а в цехах со значительным выделением пыли, дыма, копоти – не реже четырех раз в год.

Применяемые приборы и оборудование

На практике при исследовании коэффициентов естественной освещенности соблюдают ряд требований:

1. Замеры освещенности внутри и снаружи помещения производятся одновременно.

2. Замеры освещенности возможны лишь при небе, затянутом облаками.

3. Наружная горизонтальная освещенность измеряется на открытом месте, освещенном всем небосводом.

Исследования влияния загрязнения световых проемов на количественную и качественную характеристики естественного освещения проводятся на лабораторном стенде, представляющем собой вертикально установленный лист оконного стекла, разделенного на четыре части. Одна часть стекла не имеет загрязнения поверхности, вторая – имеет загрязнение с обеих сторон, третья – только наружное, четвертая – только внутреннее загрязнение.

Для измерения освещенности используется люксметр «ТКА-ПКМ», зарегистрированный в реестре средств измерений 24248-04, схема которого представлена на рисунке 6. Принцип работы прибора заключается в преобразовании фотоприемным устройством оптического излучения в электрический сигнал с последующей цифровой индикацией числовых значений освещенности. Люксметр состоит из фотоэлемента 2, соединенного с милливольтметром 1 с помощью кабеля 3. Шкалы 6 милливольтметром последнего проградуированы в килолюксах и в люксах с диапазоном измерений от 10 до 200 000 лк. Для измерения освещенности излучения достаточно расположить фотометрическую головку прибора в плоскости измеряемого объекта. Появление на жидкокристаллическом экране 5 символа «1...» информирует о превышении значением измеряемого параметра установленного энергетического диапазона и о необходимости перехода на последующие пределы измерения.

При измерениях освещенности более 20 лк необходимо перевести переключатель 4 в положение «0–200 лк». При измерениях освещенности более 200 лк необходимо перевести переключатель 4 в положение «0–2000 лк».

При измерениях освещенности более 2 000 лк необходимо перевести переключатель 4 в положение «0–20 клк».

При измерениях освещенности более 20 000 лк необходимо перевести переключатель 4 в положение «0–200 клк».

При проведении измерения освещенности необходимо проследить за тем, чтобы на окна фотоприемников не падала тень от оператора, производящего измерения, а также тень от временно находящихся посторонних предметов и других людей. Включить прибор, выбрав необходимый канал измерения, и считать с цифрового индикатора измеренное значение освещенности.

После окончания работы выключить прибор поворотом переключателя в положение «Выкл.».

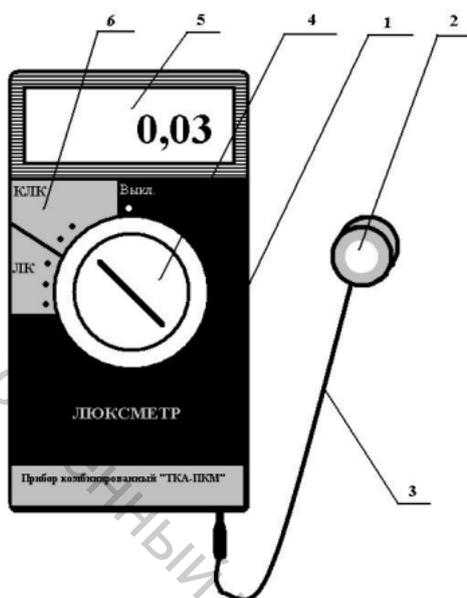


Рисунок 6 – Схема люксметра «ТКА-ПКМ»: 1 – милливольтметр;
2 – фотоэлемент; 3 – кабель; 4 – переключатель; 5 – ЖКИ;
6 – шкалы измерения

Требования охраны труда при выполнении работы

К выполнению лабораторной работы допускаются лица, прошедшие инструктаж по охране труда. Перед началом работы визуально убедиться в исправном состоянии используемых приборов. Во время проведения лабораторной работы аккуратно обращаться с люксметром, не допускать его падения. При работе с приборами запрещается:

1. Оставлять прибор без присмотра.
2. Самостоятельно устранять неисправность прибора.

Порядок проведения эксперимента

В первую очередь проводят исследования влияния загрязнения на характеристику естественного освещения. Степень загрязнения световых проемов оценивается величиной, обратной величине коэффициента пропускания света. Приложив плотно к тому или иному участку листового стекла на стенде фотоэлемент объективного люксметра, записывают его показания. Все измерения следует проводить быстро, чтобы существенно не изменилась наружная освещенность. Результаты измерения $E_{\text{ч}}$, $E_{\text{н.в.}}$, $E_{\text{н}}$ и $E_{\text{в}}$

вносят в протокол, рассчитывают C_C , C_H и C_B по соответствующим формулам (2.5–2.7) и данные расчета вносят также в протокол эксперимента. Степень суммарного загрязнения (C_C) определяется как отношение освещенности при прохождении света через стекло с наружным и внутренним загрязнением ($E_{H.B.}$) к освещенности при прохождении света через чистое стекло ($E_{ч}$):

$$C_C = \frac{E_{H.B.}}{E_{ч}}. \quad (44)$$

Степень наружного загрязнения (C_H) оценивается по отношению освещенности при прохождении света через стекло с наружным загрязнением (E_H) к освещенности при прохождении света через чистое стекло ($E_{ч}$):

$$C_H = \frac{E_H}{E_{ч}}. \quad (45)$$

Степень внутреннего загрязнения (C_B) оценивается по отношению освещенности при прохождении света через стекло с внутренним загрязнением (E_B) к освещенности при прохождении света через чистое стекло ($E_{ч}$):

$$C_B = \frac{E_B}{E_{ч}}. \quad (46)$$

Для исследования коэффициентов естественной освещенности необходимо получить задание у преподавателя, затем с помощью люксметра ТКП измерить наружную горизонтальную освещенность под открытым небом и освещенность в точках характерного разреза помещения (указанного преподавателем) и результаты занести в протокол эксперимента (табл. 17). По формуле (47) рассчитать коэффициенты естественной освещенности и построить график распределения КЕО в пределах характерного разреза помещения. Определить нормируемое значение $KEO_{норм}$ для данного помещения по ТКП 45-2.04-153- 2009 (приложение А). Рассчитать нормируемое значение KEO_N в зависимости от ориентации световых проемов помещения по сторонам света и условиям светового климата. Сравнить рассчитанное значение с нормируемым значением $KEO_{норм}$ для данного помещения. Произвести оценку неравномерности естественного освещения (Н) по формуле

$$H = \frac{KEO_{max}}{KEO_{min}}, \quad (47)$$

где KEO_{max} – максимальное значение коэффициента естественного освещения в пределах характерного разреза помещения; KEO_{min} – минимальное значение коэффициента естественного освещения в пределах характерного разреза помещения.

Таблица 17 – Протокол проведения эксперимента

Наружная горизонтальная освещенность $E_{нг}$, лк	Расстояние i -й точки измерения от окна Li , м	Освещенность в i -й точке помещения E_i , лк	КЕО, %	Неравномерность естественного освещения, Н	Влияние загрязнения светопроемов на характеристику естественного освещения							
					$E_{ц}$, лк	$E_{н.в.}$, лк	$E_{н}$, лк	$E_{в}$, лк	C_c	C_n	C_v	
	1м											
	2м											
	3м											
	4м											
	5м											

Построить график распределения КЕО ($KEO = f(L)$)

Контрольные вопросы:

1. Что такое освещенность?
2. Количественные и качественные характеристики освещенности.
3. Что такое КЕО?
4. Как определить нормированное значение КЕО?
5. Какие приборы используют для оценки естественной освещенности?

Список использованных литературных источников

1. Болбас, М. М. Экология и ресурсосбережение на транспорте / М. М. Болбас [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2011. – 295 с.
2. Луканин, В. Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда / В. Н. Луканин. – М. : ИНФРА, 2013. – 318 с.
3. Основы экологии и энергосбережения : лабораторный практикум / сост. Н. В. Скобова, В. Е. Савенок. – Витебск : УО «ВГТУ», 2019. – 144 с.
4. Охрана труда : практикум / сост. С. Г. Ковчур [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 47 с.

Приложение А

Таблица А.1 – Нормируемые значения освещенности

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различия, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение	Совмещённое освещение		
						Освещённость, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослеплённости и коэффициента пульсации	КЕО, e_n , %				
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	
						Всего	В том числе общего							Р
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Тёмный	5000	500	–	20	10	–	–	6,0	2,0
						4500	500	–	10	10				
			б	Малый Средний	Средний Тёмный	4000	400	1250	20	10				
						3500	400	1000	10	10				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Тёмный	2500	300	750	20	10				
2000	200	600				10	10							
–	Средний Большой	Светлый – Средний	1500	200	400	20	10							
						1250	200	300	10	10				

Продолжение таблицы А.1

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

Окончание таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	5
Малой точности	Свыше 1 до 5	V	а	Малый	Тёмный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	,6
			б	Малый Средний	Средний Тёмный	–	–	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Тёмный	–	–	200	40	20				
			г	Средний Большой	Светлый – Средний	–	–	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от фона и контраста объекта с окном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	,6
Работа со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах	Более 0,5	VII		Независимо от фона и контраста объекта с окном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса, постоянное периодическое при постоянном пребывании людей в помещении, периодическое при периодическом пребывании людей в помещении. Общее наблюдение за инженерными коммуникациями		VIII	а	Независимо от фона и контраста объекта с окном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	,6
			б	Независимо от фона и контраста объекта с окном		–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2
			в	Независимо от фона и контраста объекта с окном		–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2
			г	Независимо от фона и контраста объекта с окном		–	–	20	–	–	0,3	0,1	0,2	0,1

Примечания

1. Для подразряда норм от Ia до IIIв может приниматься один из наборов нормируемых показателей, приведенных для данного подразряда в графах 7–11.

2. Нормы освещенности, приведенные в приложении 2, 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 500 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 м² и более;
- з) в помещениях, где более половины работающих старше 40 лет.

При наличии одновременно нескольких признаков нормы освещенности следует повышать не более чем на одну ступень.

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

3. Наименьшие размеры объекта различения и соответствующие им разряды зрительной работы установлены при расположении объектов различения на расстоянии не более 0,5 м от глаз работающего. При увеличении этого расстояния разряд зрительной работы следует устанавливать в соответствии с приложением 3.

4. Освещенность при использовании ламп накаливания следует снижать по шкале освещенности:

а) на одну ступень при системе комбинированного освещения, если нормируемая освещенность составляет 750 лк и более;

б) то же, общего освещения для разрядов I–V, VI;

в) на две ступени при системе общего освещения для разрядов VI и VIII.

Нормируемые значения освещенности в люксах, отличающиеся на одну ступень, следует принимать по шкале: 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 15; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1250; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000.

5. Освещенность при работах со светящимися объектами размером 0,5 мм и менее следует выбирать в соответствии с размером объекта различения и относить их к подразряду «в».

6. Показатель ослепленности регламентируется в графе 10 только для общего освещения (при любой системе освещения).

7. Коэффициент пульсации Кп указан в графе 11 для системы общего освещения или для светильников местного освещения, при системе комбинированного освещения. Кп от общего освещения в системе комбинированного не должен превышать 20 %.

8. Предусматривать систему общего освещения для разрядов I–III, IVа, IVб, IVв, Va допускается только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения, согласованных с органами Государственного санитарного надзора.

9. В помещениях, специально предназначенных для работы или производственного обучения подростков, нормированное значение КЕО повышается на один разряд по графе 3 и должно быть не менее 1,0 %.

Учебное издание

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Методические указания

Составитель:
Скобова Наталья Викторовна

Редактор *Т.А. Осипова*
Корректор *А.В. Пухальская*
Компьютерная верстка *К.А. Ленъко*

Подписано к печати 16.11.2021. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 3,1.
Уч.-изд. листов 3,9. Тираж 35 экз. Заказ № 305.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.