

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Кафедра промышленной экологии и безопасности  
жизнедеятельности

**134-2013**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам № 7-9 по дисциплине  
«Безопасность жизнедеятельности» для студентов  
всех направлений, специальностей и форм обучения



Воронеж 2013

Составители: канд. техн. наук В.П. Асташкин, д-р техн. наук Н.В. Мозговой

УДК 658.382.3

Методические указания к лабораторным работам № 7-9 по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех направлений, специальностей и форм обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.П. Асташкин, Н.В. Мозговой. Воронеж, 2013. 51 с.

Методические указания содержат краткие теоретические и практические сведения о производственном микроклимате, освещении и возможностях анализаторов человека. Даны описания лабораторных установок и приборов, изложены методики проведения экспериментов.

Предназначены для оказания помощи студентам при выполнении лабораторных работ и закреплении теоретических знаний по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

Табл. 9. Ил. 4. Библиогр.: 5 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.В. Бараков

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. Н.В. Мозговой

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ

Цель работы: освоить методику исследования метеорологических условий (температуры, влажности, скорости движения воздуха) и научиться оценивать микроклимат на рабочем месте.

#### Теоретические сведения

Большое значение для обеспечения необходимых условий жизнедеятельности человека, здорового и высокопроизводительного труда имеет создание и поддержание оптимальных метеорологических условий на рабочих местах.

Организм человека постоянно находится в процессе теплового взаимодействия с окружающей средой. При этом для нормального теплового самочувствия человека необходимо соблюдение теплового баланса между количеством тепла, вырабатываемого организмом, и количеством тепла, отдаваемого окружающей среде. При соблюдении равенства такого баланса среду определяют как комфортную, а при несоблюдении — как дискомфортную. В последнем случае, если тепловыделения организма не могут быть полностью переданы окружающей среде, то происходит рост температуры внутренних органов и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «жарко». Когда окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем её воспроизводит человек, то происходит охлаждение организма. Такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «холодно».

Количество тепла  $Q$ , передаваемого человеком в окружающую среду, можно определить следующим уравнением:

$$Q = \pm Q_T \pm Q_K \pm Q_{из} \pm Q_{в} - Q_{ис}$$

где  $Q_T$  — теплопередача (теплоприход) за счёт теплопроводности через одежду;  $Q_K$  — теплопередача (теплоприход) за счёт

конвекции;  $Q_{из}$  — теплопередача (теплоприход) за счёт инфракрасного излучения;  $Q_B$  — теплопередача (теплоприход) за счёт согревания (охлаждения) вдыхаемого воздуха;  $Q_{ис}$  — теплоотдача за счёт испарения влаги с поверхности кожи и слизистых оболочек.

Анализ вышеперечисленных процессов тепло- и тепломассообмена позволяет сделать вывод, что тепловой баланс в системе «человек-среда обитания» зависит от таких факторов среды, как температура, подвижность и относительная влажность воздуха, атмосферное давление, а также от температуры окружающих предметов и интенсивности физической нагрузки организма:

$$Q = f(t_{oc}; v; \varphi; B; t_{оп}; J).$$

Так,  $Q_K$  тем больше, чем ниже температура окружающей среды  $t_{oc}$  и чем выше скорость движения воздуха  $v$ . Заметное влияние оказывает и относительная влажность  $\varphi$ , поскольку коэффициент теплопроводности воздуха является функцией атмосферного давления  $B$  и влагосодержания воздуха.  $Q_{ис}$  повышается с увеличением интенсивности работы  $J$ , температуры  $t_{oc}$  и скорости движения окружающего воздуха, а также с уменьшением относительной влажности  $\varphi$ .  $Q_{из}$  зависит от температуры окружающих предметов  $t_{оп}$  и т.д.

Такие параметры, как температура окружающих предметов  $t_{оп}$  и интенсивность физической нагрузки организма  $J$ , характеризуют конкретную производственную обстановку и могут отличаться большим разнообразием. Они учитываются при нормировании параметров микроклимата.

Остальные параметры — температура  $t_{oc}$ , скорость  $v$ , относительная влажность воздуха  $\varphi$  и атмосферное давление  $B$  — относятся к параметрам микроклимата. Эти параметры в значительной мере характеризуют охлаждающую способность окружающей среды и непосредственно влияют на тепловое самочувствие человека.

Преобладание того или иного процесса теплоотдачи также зависит от параметров микроклимата. Так, при  $t_{оп} = 18^\circ\text{C}$  доля  $Q_K$  составляет около 30% всей отводимой теплоты,  $Q_{ис} = 45\%$ ,  $Q_{ис} = 20\%$ ,  $Q_B = 5\%$  ( $Q_T = 0$  вследствие малого коэффициента

теплопроводности тканей одежды человека), т.е. основной отвод тепла осуществляется за счёт излучения и конвекции. При  $t_{оп} = 30^\circ\text{C}$   $Q_{ис}$  возрастает и становится равной суммарной отдаче теплоты излучением и конвекцией. При дальнейшем увеличении температуры до  $36^\circ\text{C}$  доля  $Q_{ис} = 100\%$ , а при более высоких температурах теплообмен идёт в обратном направлении — от окружающих предметов к человеку.

Воздействие параметров микроклимата человек ощущает комплексно, при этом состояние теплового комфорта может наблюдаться при разных сочетаниях параметров. Поэтому можно говорить о некоторой зоне комфорта, т.е. о таком комплексе комбинаций параметров микроклимата, при котором у человека возникают одинаковые теплоощущения.

Измерить комфортность какими-либо физическими единицами невозможно, поскольку это не физическая величина, а ощущения человека. Поэтому для оценки общего влияния метеорологических факторов на организм человека ввели условные единицы измерения в виде так называемых эффективной и эффективно-эквивалентной температур.

Эффективной называется температура, которая при неподвижном воздухе и 100% относительной влажности создаёт те же тепловые ощущения, что и комплекс метеорологических условий с заданными значениями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Эффективно-эквивалентная температура учитывает ещё и скорость движения воздуха.

Для нахождения эффективной и эффективно-эквивалентной температуры и зоны комфорта на основе большого количества опытов и наблюдений построены специальные номограммы.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в производственных помещениях устанавливаются ГОСТ 12.1.005-88 и санитарными нормами СН 2.2.4.548-96 для всех производств и климатических зон. Оптимальные показатели распространяются на всю рабочую зону, а допустимые устанавливают отдельно для постоянных и непостоянных рабочих мест в случаях, когда по технологическим, техническим или экономическим причинам невозможно обеспечить оптимальные нормы.

Оптимальные микроклиматические условия — это такое сочетание количественных показателей микроклимата, которое при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивает ощущение теплового комфорта и создаёт предпосылки для высокой работоспособности.

Допустимые микроклиматические условия — такое сочетание количественных показателей микроклимата, которое при длительном и систематическом воздействии на человека может вызвать преходящие и быстро нормализующиеся изменения теплового состояния его организма, сопровождающиеся напряжением механизма терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает ухудшения или нарушения состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

При нормировании метеорологических условий учитываются время года и интенсивность производимой работы.

Различают тёплый и холодный период года. Тёплый период характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха  $+10^{\circ}\text{C}$  и выше, холодный — ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ .

При учёте интенсивности труда все виды работ исходя из общих энергозатрат организма делятся на три категории: лёгкие, средней тяжести и тяжёлые.

К лёгким работам с затратами энергии до 174 Вт относятся работы, выполняемые сидя или стоя, не требующие систематического физического напряжения (работа контролёров, конторские работы и др.) Лёгкие работы подразделяются на категорию Ia (затраты энергии до 139 Вт) и категорию Ib (затраты энергии 140–174 Вт).

К работам средней тяжести относятся работы с затратами энергии 175–232 Вт (категория IIa) и 233–290 Вт (категория IIб). В категорию IIa входят работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие перемещения тяжестей; в категорию IIб — работы, связанные с ходьбой и переноской небольших (до 10 кг) тяжестей (механические цехи, текстильное производство, обработка древесины и др.).

К тяжёлым работам (категория III) с затратой энергии более 290 Вт относятся работы, связанные с систематическим физическим напряжением, в частности с постоянным передвижением, переноской значительных (более 10 кг) тяжестей.

#### Экспериментальная установка

Экспериментальная установка состоит из лабораторного стола и вертикальной панели, на которой смонтированы приборы для измерения параметров микроклимата в помещении (см. рисунок).

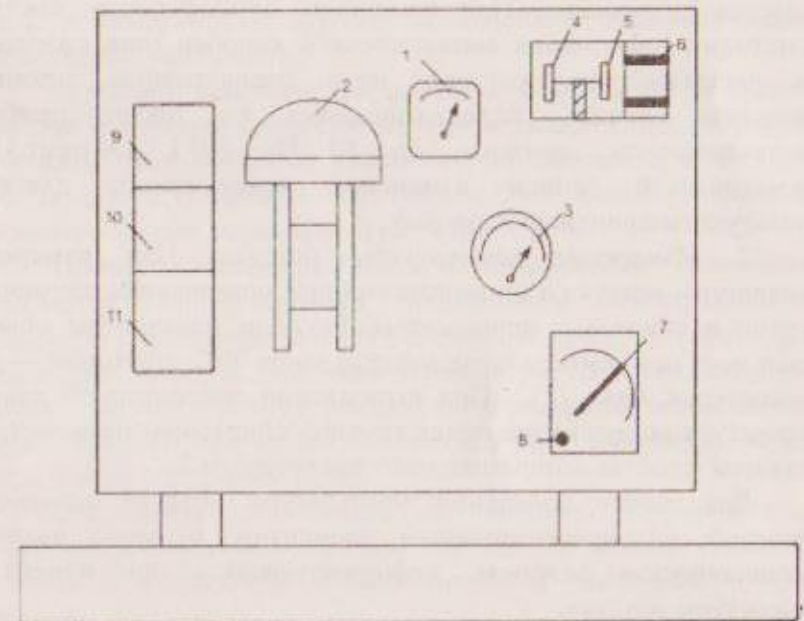


Схема экспериментальной установки

В комплект приборов входят: барометр-анероид 1, аспирационный психрометр 2 и волосной гигрометр 3, а также крыльчатый 4 и чашечный 5 анемометры, закреплённые на задней стенке вертикальной панели. Там же смонтирован осевой вентилятор 6, создающий направленный поток воздуха в камерах анемометров. Скорость вращения вентилятора (скорость движения

воздуха) регулируется переключателем 7, подача электропитания на стенд осуществляется нажатием кнопки 8.

Для изучения изменений во времени относительной влажности, давления и температуры воздуха в помещении могут быть использованы самопишущие гигрограф 9, барограф 10 и термограф 11. В комплект установки также входят секундомер, колба с водой и пипетка.

1. Измерение атмосферного давления. Атмосферное давление при выполнении лабораторной работы измеряется барометром-анероидом 1. Чувствительным элементом анероида служит гофрированная металлическая коробочка, внутри которой создается разрежение. При изменении атмосферного давления происходит деформация металлической коробочки (она сжимается или растягивается), которая через передаточный механизм передается стрелке, передвигающейся по шкале прибора. Чувствительность анероида до 10 Па (~0,1 мм.рт.ст.). Для автоматической записи изменений атмосферного давления используют анероидный барограф

2. Измерение температуры воздуха. При измерении температуры воздуха в производственных помещениях применяют ртутные и спиртовые термометры. Ртутные термометры обычно используют при температурах воздуха выше 0°C, спиртовые — при температурах ниже 0°C. При выполнении лабораторной работы температура воздуха измеряется «сухим» спиртовым термометром, входящим в состав аспирационного психрометра 2.

Для записи колебаний температуры воздуха применяют термограф 12, чувствительным элементом которого является биметаллическая пластина, деформирующаяся при изменении температуры воздуха.

3. Измерение относительной влажности воздуха. Влажность воздуха определяется содержанием в нём водяных паров. Различают абсолютную, максимальную и относительную влажность воздуха.

Абсолютная влажность воздуха определяется количеством водяного пара в единице объёма воздуха (г/м<sup>3</sup>) либо его парциальным давлением (Па). Максимальная влажность характеризуется максимально возможным содержанием водяных

паров в единице объёма воздуха либо наибольшим парциальным давлением водяных паров при данной температуре (состояние насыщения). Относительная влажность  $\varphi$  — отношение абсолютной влажности  $P$  к максимальной  $P_n$ , выраженное в процентах:

$$\varphi = \frac{P}{P_n} \cdot 100\% \quad (1)$$

Относительная влажность воздуха в помещении измеряется аспирационным психрометром 2 и волосяным гигрометром 3. Основными элементами психрометра являются два одинаковых спиртовых термометра. Поверхность баллончика одного из них сухая, а поверхность другого заключена в тканевый чехол и искусственно увлажняется.

Принцип действия психрометра основан на зависимости скорости испарения влаги с поверхности увлажнённого термометра от влажности и скорости движения окружающего воздуха. При этом скорость испарения тем больше, чем меньше парциальное давление водяных паров в воздухе и наоборот.

Процесс испарения влаги с поверхности увлажнённого термометра сопровождается понижением температуры его резервуара со спиртом за счет расхода тепла на фазовый переход воды в пар. В результате чего термометр будет фиксировать так называемую температуру «мокрого» термометра, которая всегда меньше температуры «сухого» термометра, за исключением, когда наблюдается 100% влажность.

Относительную влажность воздуха определяют по специальной психрометрической таблице по разности показаний «сухого» и «влажного» термометров или расчётным путём по формуле:

$$\varphi = \left( P_B - 0.5(t_c - t_B) \frac{B}{755} \right) \frac{100}{P_c} \quad (2)$$

где  $P_c$  — парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре «сухого» термометра, мм.рт.ст.;  $P_B$  — парциальное давление насыщенных водяных паров в воздухе при температуре «влажного» термометра, мм.рт.ст.;  $t_c$  — показания «сухого» термометра, °C;  $t_B$  — показания «влажного» термометра, °C;  $B$  — барометрическое давление, мм.рт.ст.; 755

— среднее барометрическое давление, мм.рт.ст.; 0,5 — постоянный психрометрический коэффициент.

Волосной гигрометр 3 представляет собой прибор, в котором в качестве чувствительного элемента используется обезжиренный человеческий волос, обладающий свойством изменять длину в зависимости от содержания водяного пара в воздухе. Шкала прибора отградуирована непосредственно в единицах относительной влажности.

Для непрерывной записи параметров влажности воздуха используют самопишущий прибор — гигрограф 10.

4. Измерение скорости движения воздуха. Скорость движения воздуха измеряют чашечным 5 или крыльчатим 4 анемометрами. У чашечного анемометра на оси насажена крестовина с полыми полусферами. Под воздействием воздушного потока приёмная часть прибора вращается. Это вращение через систему зубчатых колёс приводит в движение стрелки счётчиков оборотов. Скорость движения воздуха пропорциональна показаниям счётчиков, которые характеризуют длину пути, пройденного потоком воздуха через приёмную часть прибора за определенное время. Чашечный анемометр позволяет измерять скорость движения воздуха в пределах от 1 до 20 м/с.

В крыльчатом анемометре чашечки заменены алюминиевыми крыльями, расположенными под углом  $45^\circ$  к плоскости, перпендикулярной оси колеса. Применяют крыльчатые анемометры при скорости движения воздуха от 0,4 до 10 м/с.

#### Методика проведения эксперимента и интерпретация его результатов

1. Измерить параметры микроклимата на рабочем месте. Включить установку в сеть напряжением 220 В и, нажав кнопку 9, подать питание на стенд. При этом должна загореться сигнальная лампочка.

1.1. Барометром-анероидом 1 замерить атмосферное давление в помещении. Результат замера занести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений параметров микроклимата

Атмосферное давление В, мм.рт. ст.	Показания термометра в психрометра, °С		Относительная влажность $\varphi$ , %			Скорость движения воздуха $v$ , м/с	Эффективная температура $t_e$ , °С
	$t_c$	$t_B$	по таблице	расчётная	по гигрометру		

1.2. Измерить температуру и относительную влажность воздуха аспирационным психрометром 2. Подготовить прибор к работе, произвести визуальный контроль его исправности.

С помощью пипетки смочить тканевый чехол «влажного» термометра дистиллированной водой. Спустя 1-2 минуты начать наблюдение за понижением показаний температуры «влажного» термометра. Отсчёт значений температуры по «влажному» и «сухому» термометрам произвести через 4-5 минут, когда показания «влажного» термометра стабилизируются (достигнут минимума). По психрометрической таблице (Прил. 1) определить относительную влажность воздуха. Полученные значения  $t_c$ ,  $t_B$  и  $\varphi_{\text{табл}}$  занести в табл. 1.

1.3. Используя формулу (2) определить относительную влажность расчётным путём. Данные расчёта занести в табл. 1. Парциальные давления насыщенных водяных паров в воздухе при температуре «сухого»  $P_c$  и «влажного»  $P_B$  термометров определить по таблице (Прил. 2).

1.4. Снять показания относительной влажности воздуха по волосному гигрометру 3 и результат занести в табл. 1. Сделать

анализ полученных значений относительной влажности различными методами, при этом расхождения в результатах не должны превышать 5%.

1.5. Измерить скорость движения воздуха анемометром, тип которого определяется вариантом задания (табл. 2).

Установить переключатель 7 скорости вращения вентилятора в положение, соответствующее варианту задания. После чего необходимо подождать 2-3 минуты, пока установится постоянная скорость вращения лопаточного колеса. Затем с помощью секундомера определить время, в течение которого стрелка анемометра по большому циферблату счётчика сделает полный оборот (100 делений), и рассчитать скорость воздушного потока в делениях шкалы счётчика за секунду. Скорость воздуха в м/с определить по специальному графику, расположенному на столе стенда. Такие графики заполняются на заводах-изготовителях и отражают индивидуальные качества каждого анемометра. Результаты измерения занести в табл. 1.

2. Оценить комплексное воздействие параметров микроклимата на организм человека.

2.1. Определить эффективную температуру  $t_e$  и сравнить её с зоной комфорта для заданной категории работ по тяжести. Для определения  $t_e$  по номограмме (Прил. 3) отметить показания  $t_c$  и  $t_a$  термометров и соединить их прямой линией. Точка пересечения её с кривой, соответствующей скорости воздуха в помещении, показывает величину  $t_e$  и её положение относительно зоны комфорта. Значение  $t_e$  занести в табл. 1.

Зона комфорта для лёгкой работы находится в пределах  $t_e = 17,2 \div 21,7$  °С; для работ средней тяжести  $t_e = 16,2 \div 20,7$  °С; для тяжёлого труда  $t_e = 14,7 \div 19,2$  °С.

Таблица 2

Варианты задания для выполнения работы

Номер варианта	1	2	3	4	5	6
Температура наружного воздуха, °С	>10	>10	<10	<10	>10	<10
Категория работ по тяжести	лёгкие Ia	средние IIб	тяжёлые	лёгкие Iб	средние IIa	тяжёлые
Положение переключателя 7 скорости движения воздуха	4	5	6	7	8	9
Тип анемометра	Скорость воздуха определяется по крыльчатому анемометру			Скорость воздуха определяется по чашечному анемометру		

2.2. Установить пути создания комфортных условий на рабочем месте. Если значение  $t_e$  находится в пределах зоны комфорта, то весь исследуемый комплекс метеорологических условий обеспечивает нормальный тепловой обмен. Если значение  $t_e$  находится вне пределов зоны комфорта, то по номограмме определить изменение каких параметров ( $t_c$ ,  $t_a$ ,  $v$ ,  $\varphi$ ) может привести к созданию комфорта.

3. Определить оптимальные и допустимые параметры микроклимата в соответствии с вариантом задания. Используя таблицу (Прил. 4) установить оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне помещения с учётом периода года и категории работы. Полученные данные занести в табл. 3.

Сделать выводы о соответствии исследованных параметров микроклимата оптимальным и допустимым нормам по ГОСТ

12.1.005-88, внести предложения по приведению параметров микроклимата к зоне комфорта.

Таблица 3

Нормативные значения параметров микроклимата

Период года	Метеорологические условия	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
Категория работ	Оптимальные			
	Допустимые			

Контрольные вопросы

1. Перечислите параметры, характеризующие микроклимат в рабочей зоне производственных помещений.
2. Как влияют различные метеорологические параметры на теплообмен человека с окружающей средой?
3. В чём отличие оптимальных микроклиматических условий от допустимых?
4. Какие факты учитываются при нормировании параметров микроклимата?
5. В чём разница между абсолютной и относительной влажностью воздуха?
6. С помощью каких приборов определяется относительная влажность воздуха? Каков принцип их действия?
7. Когда показания «влажного» термометра будут меньше — при большей, или меньшей относительной влажности и почему? Могут ли показания «сухого» и «влажного» термометров быть равными?
8. Что представляет собой эффективная температура? Что с ее помощью определяют?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА

Цель работы: освоить методику экспериментальной оценки профессиональных качеств человека-оператора в системе «человек-машина».

Теоретические сведения

Одной из особенностей труда в современных условиях является интенсификация технической деятельности человека, т.е. ускорение темпов работы и повышение уровня напряженности его психической деятельности для достижения большей результативности. Одним из показателей результативности деятельности является снижение количества ошибок, допускаемых оператором в системе «человек-машина». При этом ошибка человека определяется как невыполнение поставленной задачи (или выполнение запрещенного действия), которое может явиться причиной повреждения оборудования или имущества либо нарушения нормального хода запланированных операций.

О роли человеческого фактора говорит статистика: только 8-10% работающих в промышленности соответствуют по своим психофизиологическим характеристикам профессиональным требованиям. Этим обстоятельством, в частности, обусловлено более 40% автодорожных происшествий, в результате которых на планете ежегодно погибают более 250 тысяч и получают травмы более 7 миллионов человек; 65% производственных травм в шахтах; до 90% нарушений режимов работы тепловых электростанций и т.д. По мнению большинства специалистов в области безопасности, по вине человека (а не техники) происходит 60-90% всех случаев производственного травматизма. Так, специальные исследования одного из производств в нашей стране показали, что в 76,5% производственных травм виновниками были сами пострадавшие, а в 6,1% случаев — их коллеги и лишь в 10,7%



случаев несчастье происходило в результате неполадок технических систем.

Таким образом, можно с достаточной уверенностью утверждать, что существенным резервом повышения безопасности и эффективности трудовой деятельности на производстве является психологическое совершенствование системы защитных мероприятий с учетом возможностей и специфических закономерностей поведения человека в различных ситуациях.

Разработка машин и систем, полностью использующих, но не превышающих возможностей человека, является сложной технической задачей, решением которой занимаются специалисты (инженеры и психологи), владеющие методами качественного и количественного анализа процессов взаимодействия человека и машины

Любая задача, с которой сталкивается человек при взаимодействии с окружающим его миром, оказывается заданной во времени. В трудовой деятельности показатель времени выступает в качестве главного критерия производительности и эффективности. Особое значение он приобретает в деятельности человека-оператора, где несоблюдение временного критерия расценивается как недостижение цели со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Наиболее скоростными операторскими профессиями на сегодняшний день считаются различные транспортные профессии как водительские (летчик, шофер, машинист и т.д.), так и диспетчерские (систем управления движением). Жесткие временные параметры типичны и для деятельности операторов по управлению технологическими процессами, энергетическими системами, атомными установками и т.п.

Для авиадиспетчера обычно достаточным является темп поступления информации около 4 и выше бит/мин. Причем эта информация требует немедленной переработки и формирования управляющего воздействия. Если учесть, что каждое полученное сообщение требует до 10 элементарных действий по его обработке, то жесткие временные рамки деятельности авиадиспетчера станут еще более очевидны.

Столь же высокий принудительный темп характеризует и деятельность железнодорожных диспетчеров и операторов. При работе сортировочной горки главная операция - роспуск отцепов (80 вагонов за 6-8 мин, интервал между вагонами 4-5 с). При этом оператору необходимо в течение 2-3с осмыслить последовательность и выполнить до 5-6 переключений по управлению замедлителями. Промедление управляющих действий на 0,5 - 0,7 с может привести к крушению.

Еще более остро проблема дефицита времени стоит в аварийных ситуациях по сравнению с обычными условиями деятельности. Например, при сбоях в функционировании сортировочной горки динамическая интенсивность работы оператора увеличивается на 30-35%, а логическая сложность в целом на 50%.

Очень высок принудительный темп и сложен характер работы летчика. Временные характеристики отдельных этапов действия летчика в условиях реального полета для ряда аварий составляют: время обнаружения аварии — 0,8-1,2 с, считывание информации с табло — 1,7-2,4 с и общее время принятия решения — 2,5-3,6 с. При этом необходимо учитывать, что летчику нередко приходится работать в условиях таких скоростей, которые превосходят возможность его восприятия. Так при полете со скоростью 3М у пилота возникает иллюзия. Пилот видит те предметы, которые находятся на расстоянии 100 м позади самолета. Это обусловлено несоизмеримостью временных характеристик зрительного восприятия и движения сверхскоростного самолета.

Дефицит времени при вождении автомобиля часто является причиной дорожно-транспортных происшествий. Поэтому быстрота реакции, как один из важнейших навыков водителя, во многом обеспечивает безопасность движения. Время реакции водителя на неожиданно возникающий тормозной сигнал может колебаться в широких пределах от 0,4 до 1,5 с в зависимости от профессионального опыта и индивидуальных психофизиологических особенностей водителя. Следовательно, и длина тормозного пути автомобиля при всех прочих равных условиях может значительно изменяться. Так, при скорости

движения автомобиля 60 км/ч длина тормозного пути увеличивается от 6,8 м для времени реакции 0,4 с до 28,8 м для времени реакции 1,5 с. Водители, время двигательных реакций у которых превышает установленные нормы, к управлению автомобилем допускаться не должны.

Для того, чтобы отреагировать на тот или иной сигнал, оператор должен прежде всего его воспринять. Возможность получать и оценивать информацию об окружающей среде человеку обеспечивают анализаторы (сенсорные системы). Анализатор — это специальная подсистема центральной нервной системы, включающая три анатомические и функционально связанных между собой элемента: рецепторы (периферийный отдел анализатора), нервные проводящие пути (проводниковый отдел) и мозговой центр (центральный отдел).

Рецепторы являются датчиками сенсорных систем. Они представляют собой специальные клетки или окончания чувствительных нервных волокон, способные возбуждаться при действии раздражителя. Полученная рецепторами информация, закодированная в нервных импульсах, передается по нервным путям в центральные отделы соответствующих анализаторов коры головного мозга, где она анализируется и осуществляется выбор или разработка программы ответной реакции. Таким образом, обнаружение стимула осуществляется в результате преобразования процесса возбуждения в процессе ощущения и осознания.

Основной характеристикой любого анализатора является его чувствительность. Для того, чтобы стимул вызвал процесс его ощущения, должен быть создан такой уровень физического раздражения рецептора, при котором физиологическое возбуждение анализатора превысит его внутренние — биологические шумы. Минимальную интенсивность физического раздражителя, при достижении и превышении которой появляется его ощущение, называют нижним, или абсолютным, порогом ощущения. В зависимости от вида раздражителя абсолютный порог измеряется в единицах давления, энергии, температуры, концентрации и т.п.

Если интенсивность раздражителя, превысив абсолютный порог, будет продолжать увеличиваться, то после достижения ею

какого-то предельного значения адекватное ощущение стимула станет невозможным. В этом случае человек получает ощущение боли. Максимальную интенсивность раздражителя, которую возможно адекватно ощущать и сверх которой такое ощущение становится невозможным, называют верхним порогом ощущения.

Наряду с нижним и верхним порогом широко используются такие понятия, как дифференциальный порог ощущения и латентный период. Дифференциальный (различительный) порог чувствительности — это минимальное изменение интенсивности раздражителя, которое возможно распознать по разнице в ощущениях. Различают абсолютные и относительные дифференциальные пороги, характеризуемые соответственно значениями  $\Delta J$  и  $\frac{\Delta J}{J} * 100\%$ , где  $J$  — исходная интенсивность.

Латентный период — время, проходящее от начала воздействия раздражителя до возникновения ощущений. Этот показатель характеризует инерционность анализаторов, т.е. запаздывание ощущений человека по отношению к внешнему воздействию.

Кроме названных характеристик, в инженерной психологии находят применение показатели спектральной чувствительности, пространственного и временного порогов.

Диапазон спектральной чувствительности определяется для анализаторов, чувствительных к изменению частотных характеристик сигнала (зрительного, слухового, вибрационного), как все переходные значения от нижнего до верхнего порога ощущений по частоте или длине волны.

Показатели пространственного порога устанавливают минимальные размеры раздражителя, площадь рецепторов, на которые он воздействует, и их взаимное расположение; временного порога — минимальную длительность воздействия, необходимую для возникновения ощущения.

Функционирование анализаторов существенно изменяется под влиянием неблагоприятных для человека условий. Низкая и высокая температуры, вибрации, перегрузки, интенсивные потоки информации, утомление, вызванное длительной работой, состояние

стресса и т.п. — все эти факторы вызывают различные изменения характеристик анализаторов.

Чтобы обеспечить достаточную надёжность деятельности человека-оператора при приёме и анализе сигналов в любых условиях, для практических расчётов рекомендуется использовать не абсолютные и дифференциальные пороги чувствительности к различным сигналам, а оперативные пороги, характеризующие некоторую оптимальную различимость сигналов. Обычно оперативный порог в  $10 \div 15$  раз выше соответствующего абсолютного и дифференциального.

Психофизическими опытами установлено, что величина ощущений человека изменяется медленнее, чем интенсивность раздражителя. Количественное соотношение между интенсивностью ощущений и интенсивностью раздражителя устанавливает закон Вебера-Фехнера, который выражается уравнением:

$$E = k * \lg \left( \frac{J}{J_0} \right) + C,$$

где  $k$  — интенсивность ощущений;  $J$  — интенсивность раздражителя;  $J_0$  — абсолютный порог;  $k$  и  $C$  — константы, определяемые данной сенсорной системой.

Закон утверждает, что при линейном увеличении интенсивности ощущений ( $E$ ) интенсивность раздражителя ( $J$ ) растёт логарифмически.

Являясь звеном в системе «человек-машина», оператор чаще всего реагирует на сигналы с помощью слухового и зрительного анализаторов. Рассмотрим работу зрительного анализатора.

Как следует из рис. 1, в промежутке времени  $t_0 - t_3$  на глаз человека действует световой сигнал. Но зрительное ощущение этого возникает не в момент  $t_0$ , а в момент  $t_1$ . Промежуток времени  $t_0 - t_1$  представляет собой латентный (скрытый) период. Для большинства людей этот период составляет в среднем  $0,15 \div 0,22$  с.

Возникнув в момент времени  $t_1$ , зрительное ощущение развивается не сразу, а постепенно, и достигает своего максимума в момент времени  $t_2$ , после чего оно сохраняется в течение всего времени действия светового сигнала. После окончания воздействия

раздражителя (момент  $t_3$ ) зрительное ощущение исчезает не сразу, а также постепенно и заканчивается лишь в момент времени  $t_4$ . Промежуток времени  $t_3 \div t_4$  — это время инерции ощущения.

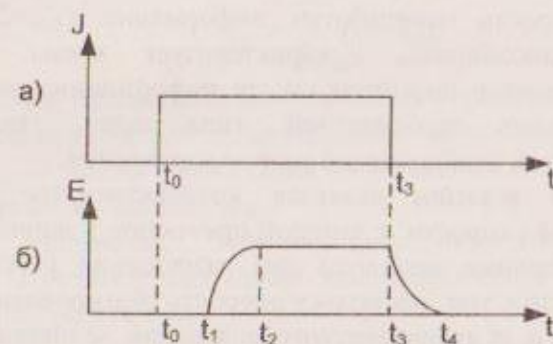


Рис. 1. Временная диаграмма работы зрительного анализатора: а) — входной сигнал; б) — принятый сигнал

Возникнув в момент времени  $t_1$ , зрительное ощущение развивается не сразу, а постепенно, и достигает своего максимума в момент времени  $t_2$ , после чего оно сохраняется в течение всего времени действия светового сигнала. После окончания воздействия раздражителя (момент  $t_3$ ) зрительное ощущение исчезает не сразу, а также постепенно и заканчивается лишь в момент времени  $t_4$ . Промежуток времени  $t_3 \div t_4$  — это время инерции ощущения.

Что касается длительности латентного периода для слухового анализатора, то она зависит как от уровня силы звука, так и от его частоты и составляет в среднем  $0,12 \div 0,18$  с.

В общем виде деятельность человека-оператора характеризуется быстродействием и надёжностью.

Критерием быстродействия (инерционности) является время решения задачи, т.е. время от момента появления сигнала (стимула) до момента окончания управляющих воздействий. Обычно это время прямо пропорционально количеству преобразуемой человеком информации:

$$t_{\text{он}} = a + bH = a + \left( \frac{H}{V_{\text{он}}} \right)$$

где  $a$  — скрытое время реакции, т.е. промежуток времени от момента появления сигнала до реакции на него оператора ( $a \approx 0,2 \div 0,6$ с);  $b$  — время переработки одной единицы информации ( $b \approx 0,15 \div 0,35$ с);  $H$  — количество перерабатываемой информации;  $V_{оп}$  — средняя скорость переработки информации ( $V_{оп} = 2 \div 4$ ед/с) или пропускная способность.  $V_{оп}$  характеризует время, в течении которого оператор постигает смысл информации; зависит от его психологических особенностей, типа задач, технических и эргономических особенностей систем управления.

Время реакции является количественным показателем максимальной скорости, с которой протекают у данного человека-оператора нервные процессы при разрешении рассматриваемой задачи. Вместе с тем, поскольку скорость реагирования зависит от физического и психологического состояния человека, она может служить также показателем этих состояний.

✓ Наиболее элементарной разновидностью реакции оператора является сенсомоторная реакция, которая осуществляется в виде восприятия информации оператором и совершении заданного ему движения (нажатия кнопки, перемещения рычага и т.п.). Основным показателем такой реакции — время складывается в основном из двух составляющих: латентного периода и моторного акта.

Простая сенсомоторная реакция (типа А) заключается в ответе заранее заданным простым движением на внезапно появляющийся, но заранее известный сигнал. Подобным образом оператор реагирует на аварийный сигнал в тех случаях, когда такой сигнал требует срочной и однозначной реакции.

Другим типом сенсомоторной реакции является сложная реакция (типа В), в которой осуществляется предельно быстрое различение поступившего сигнала среди ряда возможных и выбор из имеющихся способов ответных действий такого, который соответствует этому сигналу.

Третий тип сенсомоторной реакции (тип С) возникает в тех случаях, когда испытуемому предъявляют два или несколько сигналов и ему следует реагировать на какой-либо из них, оставляя без внимания остальные.

На основании статистики для элементарного сенсомоторного акта время реакции оператора составляет  $0,3 \div 0,5$  с.

Применительно к системе управления, элементом которой является человек, требуемое быстродействие оператора определяется продолжительностью цикла управления:

$$T_{ц} = \sum_{i=1}^n t_i + t_{оп}, \quad (1)$$

где  $T_{ц}$  — общая продолжительность цикла управления;  $t_i$  — время задержки сигнала в  $i$ -м звене машины;  $n$  — число машинных звеньев;  $t_{оп}$  — время пребывания информации на обслуживании (т.е. время реакции оператора).

При заданных значениях  $T_{ц}$  и известных  $t_i$  (обычно приводятся в паспортных данных на устройство) от оператора требуется быстродействие:

$$t_{оп} \leq T_{ц} - \sum_{i=1}^n t_i. \quad (2)$$

Постоянная времени оператора  $t_{оп}$  при реализации принятых им решений является одним из важнейших профессиональных качеств. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки этого показателя, как на стадии предварительного профессионального отбора, так и в процессе нормирования труда оператора.

✓ Надёжность человека-оператора определяет его способность выполнять в полном объёме возложенные на него функции при определённых условиях работы. Надёжность деятельности оператора характеризуют безошибочность, готовность, восстанавливаемость, своевременность и точность.

Безошибочность оценивается вероятностью безошибочной работы, которая определяется как на уровне отдельной операции, так и в целом на уровне всего объёма работы.

✓ Вероятность  $P_j$  безошибочного выполнения операции  $j$ -го вида и интенсивность ошибок  $\lambda_j$ , допущенных при этом, применительно к фазе устойчивой работы определяются на основе статических данных:

$$P_j = \frac{N_j - C_j}{N_j};$$

$$\lambda_j = \frac{C_j}{N_j T_j}$$

где  $N_j$  — общее число выполняемых операций  $j$ -го вида;  $C_j$  — число допущенных при этом ошибок;  $T_j$  — среднее время выполнения операции  $j$ -го вида.  $P_j = 0,9 \div 0,995$ .

Коэффициент готовности характеризует вероятность включения оператора в работу в любой произвольный момент времени:

$$K_{оп} = 1 - \left( \frac{T_B}{T} \right),$$

где  $T_B$  — время, в течение которого человек не может принять поступившую к нему информацию;  $T$  — общее время работы человека-оператора.

Восстанавливаемость оператора оценивается вероятностью исправления им допущенной ошибки:

$$P_B = P_K P_{обн} P_{и},$$

где  $P_K$  — вероятность выдачи сигнала контрольной системой;  $P_{обн}$  — вероятность обнаружения сигнала оператором;  $P_{и}$  — вероятность исправления ошибочных действий при повторном выполнении всей операции.

Этот показатель позволяет оценить возможность самоконтроля оператором своих действий и исправления допущенных им ошибок.

Своевременность действий оператора оценивается вероятностью выполнения задачи в течении заданного времени:

$$P_{св} = P\{t \leq t'\} = \int_0^{t'} f(t) dt,$$

где  $f(t)$  — функция распределения времени решения задачи оператором;  $t'$  — лимит времени, превышение которого рассматривается как ошибка.

Эта же вероятность может быть определена и по статистическим данным как:

$$P_{св} = \frac{N - N_{ис}}{N}$$

где  $N$  и  $N_{ис}$  — общее и несвоевременно выполненное число задач.

Точность — степень отклонения измеряемого оператором количественного параметра системы от его истинного, заданного или номинального значения. Количественно этот параметр оценивается погрешностью, с которой оператор измеряет, оценивает, устанавливает или регулирует этот параметр:

$$\Delta A = A_{и} - A_{оп},$$

где  $A_{и}$  — истинное или номинальное значение параметра;  $A_{оп}$  — фактически измеренное или регулируемое оператором значение этого параметра.

Значение погрешности, превысившее допустимые пределы, является ошибкой и её следует учитывать при оценке надёжности.

#### Лабораторная установка

В качестве лабораторного оборудования используется рефлексометр, позволяющий измерять время реакции оператора на аудио- и видеосигналы. Функционально прибор позволяет:

а) демонстрировать появление одного из восьми сигналов, в том числе и комбинированного, а именно:

- включение красного светодиода;
- включение зеленого светодиода;
- одновременное включение светодиодов;
- тональный сигнал частотой 1 кГц;
- тональный сигнал частотой 0,2 кГц;

одновременное включение обоих светодиодов и тонального сигнала частотой 0,2 кГц;

включение красного светодиода одновременно с тональным сигналом частотой 0,2 кГц;

включение зеленого светодиода одновременно с тональным сигналом частотой 0,2 кГц;

б) измерять время реакции оператора на появление одного из указанных выше сигналов с точностью до  $10^{-3}$  с;

в) проводить эксперименты на базе одного заранее выбранного сигнала.

Схематическое изображение панели прибора приведено на рис.2.

Прибор работает следующим образом. После включения тумблера «сеть» 5 загорается желто-зеленый светодиод 1, на цифровом табло появляется произвольный набор цифр. Тумблер 15 выключен. Нажатием на кнопку 14 «обнуляем» табло, при этом одновременно происходит запуск генератора чисел случайной последовательности. Через 12-14 с схема выдает команду на включение одного из восьми указанных сигналов. Включение сигналов равновероятно ( $P=0,125$ ). Одновременно с появлением сигнала начинается отсчет времени. Счетчик может считать до 9,0 с, после чего счет прекращается. После возникновения зрительного (слухового) ощущения необходимо нажать на кнопку в соответствии: с мнемосхемой, имеющейся на панели прибора. При комбинированном сигнале (звук + свет) необходимо нажать уже на две соответствующие кнопки. Нажатием кнопки прекращается процесс счета, а зафиксированное на табло время характеризует «инерционность» человека-оператора. Этим завершается одноразовая проверка. Поскольку оценка сенсомоторной реакции человека-оператора предполагает определенную статистику, нажатием на кнопку 14 цикл испытаний повторяют необходимое число раз.

При необходимости экспериментирования с постоянным заранее известным сигналом поступают следующим образом. Изменяя топ указанным выше способом, ожидают появления интересующего сигнала, фиксируют время и после этого включают тумблер 15. Теперь при нажатии на кнопку 14 будет появляться только этот сигнал.

Для восстановления первоначального режима работы прибора тумблер 15 необходимо выключить.

#### Методика проведения эксперимента и интерпретация его результатов

Перед включением прибора проверить наличие заземления, клемма «заземление» находится на задней панели прибора. Ознакомьтесь с мнемосхемой 16, расположенной вертикально правее кнопок 7-11.

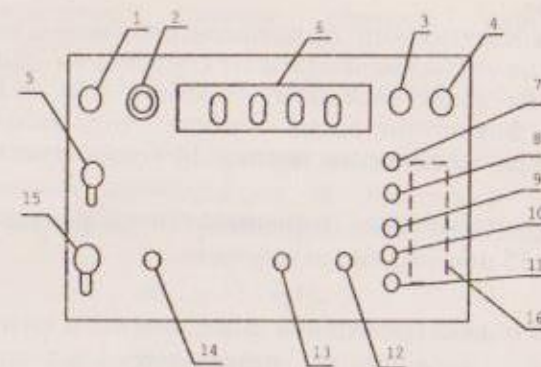


Рис.2. Панель прибора:

- 1 - светодиод «сеть включена»; 2 - предохранитель; 3 - красный светодиод; 4 - зеленый светодиод; 5 - тумблер «сеть»; 6 - четырехразрядное световое табло; 7 - кнопка «красный светодиод»; 8 - кнопка «зеленый светодиод»; 9 - кнопка «красный + зеленый светодиод»; 10 - кнопка «тональный сигнал частотой 0,2 кГц»; 11 - кнопка «тональный сигнал частотой 1 кГц»; 12 - контроль прохождения сигнала 0,2 кГц; 13 - контроль прохождения сигнала 1,0 кГц; 14 - кнопка «запуск»; 15 - тумблер «повторное включение»; 16 - мнемосхема панели

Прибор работает следующим образом. После включения тумблера «сеть» 5 загорается желто-зеленый светодиод 1, на цифровом табло появляется произвольный набор цифр. Тумблер 15 выключен. Нажатием на кнопку 14 «обнуляем» табло, при этом одновременно происходит запуск генератора чисел случайной последовательности. Через 12-14 с схема выдает команду на включение одного из восьми указанных сигналов. Включение сигналов равновероятно ( $P=0,125$ ). Одновременно с появлением сигнала начинается отсчет времени. Счетчик может считать до 9,0 с, после чего счет прекращается. После возникновения зрительного (слухового) ощущения необходимо нажать на кнопку в соответствии с мнемосхемой, имеющейся на панели прибора. При комбинированном сигнале (звук + свет) необходимо нажать уже на две соответствующие кнопки. Нажатием кнопки прекращается процесс счета, а зафиксированное на табло время характеризует «инерционность» человека-оператора. Этим завершается одноразовая проверка. Поскольку оценка сенсомоторной реакции человека-оператора предполагает определенную статистику, нажатием на кнопку 14 цикл испытаний повторяют необходимое

число раз.

При необходимости экспериментирования с постоянным заранее известным сигналом поступают следующим образом. Измеряя  $t_{оп}$  указанным выше способом, ожидают появления интересующего сигнала, фиксируют время и после этого включают тумблер 15. Теперь при нажатии на кнопку 14 будет появляться только этот сигнал.

Для восстановления первоначального режима работы прибора тумблер 15 необходимо выключить.

### Методика проведения эксперимента и интерпретация его результатов

Перед включением прибора проверить наличие заземления, клемма «заземление» находится на задней панели прибора. Ознакомиться с мнемосхемой 16, расположенной вертикально правее кнопок 7-11.

1. Определение времени простой сенсомоторной реакции (тип А).

1.1. Подключить прибор к сети и включить тумблер 5 (рис.2) Убедиться, что тумблер 15 включен (находится в нижнем положении) Кратковременным нажатием на кнопки 13 и 12 убедиться в «исправности» звуковых сигналов частотой 1,0 и 0,2 кГц соответственно.

1.2. Кратковременно нажать кнопку 14. При этом на световом табло должны появиться нули, а затем через 12÷14 секунд появится один из восьми перечисленных выше сигналов. Одновременно включается таймер и на табло индуцируются микросекунды.

Вслед за появлением сигнала необходимо нажать на соответствующую кнопку (кнопки) в соответствии с мнемосхемой. При этом отсчёт времени прекращается, а на табло фиксируется постоянная времени оператора  $t_{оп}$ , которую необходимо внести в табл. I для последующей математической обработки. Этим заканчивается единичный цикл измерения.

1.3. Нажатием на кнопку 14 цикл измерения  $t_{оп}$  повторяется. Для получения объективного результата провести не менее 10 измерений.

2. Определение времени сложной сенсомоторной реакции(тип В).

Выключить тумблер 15 (перевести в верхнее положение).

Повторить п.п. 1.2; 1.3;

3. Математическая обработка результатов эксперимента.

На основании проведённых  $m$  измерений определить математическое ожидание  $M_x$  времени реакции оператора:

$$M_x = \sum_{i=1}^m x_i P_i,$$

где  $x_i$  — значения  $t_{оп}$  полученные в эксперименте,  $c; P_i = 1/m$  — вероятность появления данного значения  $x_i$ ;  $m$  — количество проведённых измерений.

Таблица I

Результаты эксперимента

Номер замера		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время реакции $t_{оп}$	Тип А										
	Тип В										

Определить дисперсию  $D_x$  случайной величины  $M_x$ :

$$D_x = \sum_{i=1}^m (x_i - M_x)^2 P_i.$$

Определить среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}.$$

Определить диапазоны значений  $t_{оп}$  с учётом  $\sigma_x$ :

$$t_{опmax} = M_x + \sigma,$$

$$t_{опmin} = M_x - \sigma,$$

4. Проверка выполнения условия (2) при известных

значениях  $T_u - \sum_{i=1}^n t_i$

Получить у преподавателя вариант задания для количественного анализа результатов эксперимента (табл.2).

Проверить выполнение условия (2):

$$t_{опmax} = M_x + \sigma \leq T_u - \sum_{i=1}^n t_i$$

Оценить соответствие режима работы оператора требуемым нормам и сделать предварительный вывод о профессиональной пригодности оператора.

В случае невыполнения условия(2)

$$(t_{опmax} > T_u - \sum_{i=1}^n t_i)$$

определить необходимые мероприятия, позволяющие оператору исполнять свои функции в данной системе управления.

Таблица 2

Варианты задания

Варианты		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Исходные данные	$T_u, c$	12	11	10	9	14	10	13	15	16	9
	$\sum_{i=1}^n t_i$	9	8,5	8	7,5	13	8	11,5	13	14,5	8

В случае невыполнения условия(2)

$$(t_{опmax} > T_u - \sum_{i=1}^n t_i)$$

определить необходимые мероприятия, позволяющие оператору исполнять свои функции в данной системе управления.

В зависимости от превышения  $t_{оп}$  над нормативным уровнем выбрать один из трёх возможных вариантов: при

$$t_{опmax} / (T_u - \sum_{i=1}^n t_i) = C = 1,06 \div 1,15 - \text{снизить } \sum_{i=1}^n t_i \text{ за счёт}$$

уменьшения количества машинных звеньев  $n$  регулируемых с участием оператора:

при  $1,15 \leq C < 1,7$  — снизить  $\sum_{i=1}^n t_i$  за счёт повышения

уровня автоматизации машинных звеньев;

при  $C > 1,7$  — разделить функции регулирования машинных звеньев между двумя операторами.

#### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой анализатор человека?
2. Какие основные характеристики анализаторов?
3. Что устанавливает закон Вебера-Фехнера?
4. Что такое время реакции человека на внешний сигнал и что оно характеризует?
5. Что такое сенсомоторная реакция человека? Какие сенсомоторные реакции бывают?
6. Из чего складывается время цикла управления в системе «человек-машина»?
7. Какие временные ограничения накладывались на деятельность человека-оператора в системе «человек-машина» в вашем варианте?
8. Какими показателями характеризуется деятельность человека-оператора?
9. Что такое надёжность человека-оператора? Чем она характеризуется?
10. Что такое безошибочность человека-оператора?



ИССЛЕДОВАНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ

Цель работы: исследование освещенности рабочих мест и ее соответствия санитарным нормам, а также влияния на освещенность цветовой окраски стен.

Теоретические сведения

Неправильно подобранное освещение ухудшает условия зрительной работы, повышает утомляемость глаз, нервной системы, снижает производительность труда, может стать причиной несчастного случая или заболевания. Поэтому организация рационального освещения является одним из главных вопросов безопасности жизнедеятельности.

Освещение характеризуется количественными и качественными показателями. К основным количественным показателям относятся: световой поток, сила света, освещенность и яркость.

Световой поток  $F$  определяется как мощность лучистой энергии, оцениваемой по световому ощущению, которое она производит на человеческий глаз. Измеряется световой поток в люменах (лм).

Осветительные приборы излучают световой поток неравномерно, поэтому вводится величина пространственной плотности светового потока — сила света  $J$ , которая определяется как отношение светового потока к величине телесного угла, в пределах которого световой поток распространяется:

$$J = \frac{dF}{d\omega} \quad (1)$$

Телесный угол  $d\omega$  измеряется отношением площади  $S$  той части сферы с центром в вершине конической поверхности, которая вырезается телесным углом, к квадрату радиуса  $R$  сферы:

$$\omega = \frac{S}{R^2}$$

Измеряется  $\omega$  в стерadians (ср). При  $S = 1\text{ м}^2$ ;  $R=1\text{ м}$ ;  $\omega=1\text{ ср}$ . Для полусферы  $\omega = \pi\text{ ср}$ , полная сфера образует  $\omega = 2\pi\text{ ср}$ .

За единицу силы света принята кандела (кд). Одна кд — сила света, испускаемого с поверхности площадью  $\frac{1}{6} * 10^{-5}\text{ м}^2$  государственного светового эталона в перпендикулярном направлении при температуре затвердевания пластины (2046,65 К) и давлении 101,3 кПа.

Освещенность  $E$  — отношение светового потока к площади поверхности, на которую этот поток падает:

$$E = \frac{dF}{dS}$$

Освещенность измеряется в люксах (лк). Освещенность в 1лк — очень маленькая величина, и она дает возможность лишь ориентироваться в пространстве. При свете полной луны освещенность составляет 0,2 лк, при прямом свете солнца - 100000 лк.

Яркость поверхности  $L_v$  в данном направлении определяется отношением силы света, излучаемой поверхностью в этом направлении, к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению

$$L = \frac{dJ}{dS_1 \times \cos\alpha}$$

где  $\alpha$  - угол между направлением силы света и перпендикуляром к светящейся поверхности;  $dS_1$  - площадь светящейся поверхности; измеряется яркость в канделах на квадратный метр.

К основным качественным показателям освещения, определяющим условия зрительной работы, относятся: фон, контраст объекта с фоном, видимость, коэффициент пульсаций, показатель ослепленности и другие.

Фон - поверхность, прилегающая непосредственно к объекту различения, на которой он рассматривается. Характеризуется коэффициентом отражения, который определяется как отношение отраженного от поверхности к падающему на нее световому потоку:

$$\rho = \frac{F_{\text{отр}}}{F_{\text{пад}}}$$

При  $\rho > 0,4$  фон считается светлым;  $\rho = 0,2 \div 0,4$  - средним и  $\rho < 0,2$  - темным.

Контраст объекта с фоном: характеризуется отношением яркостей рассматриваемого объекта и фона. Определяется по формуле:

$$K = \frac{|L_o - L_\phi|}{L_\phi}$$

где  $L_o$  и  $L_\phi$  - яркости соответственно объекта и фона. Контраст объекта с фоном считается большим при  $K > 0,5$ , средним при  $K = 0,2 \div 0,5$  и малым при  $K < 0,2$ .

В зависимости от источника света различают естественное, искусственное и совмещенное освещение.

Естественное освещение подразделяют на боковое, осуществляемое через световые проемы в наружных стенах; верхнее, осуществляемое через аэрационные и зенитные фонари, проемы в перекрытиях; комбинированное, когда к верхнему освещению добавляется боковое.

Искусственное освещение по исполнению может быть двух систем - общее  $E_o$  и комбинированное  $E_k$  (когда к общему освещению добавляется местное, концентрирующее световой поток непосредственно на рабочих местах). Применение одного местного освещения в производственных помещениях не допускается.

Основой бесперебойности действия осветительной установки является устройство одновременно двух видов освещения: рабочего и аварийного, различающихся по своему функциональному назначению и получающих раздельное питание. Рабочее освещение предназначено для создания необходимых условий работы и нормальной эксплуатации зданий, а аварийное для обеспечения условий для временного продолжения работы или безопасной эвакуации людей из помещения при прекращении действия рабочего освещения.

Отечественная светотехническая промышленность выпускает широкий ассортимент источников света, предназначенных для использования в различных осветительных установках. Наряду с лампами накаливания и люминесцентными лампами в практике широко используются галогенные, ртутно-

кварцевые с исправленной цветностью, ксеноновые и натриевые лампы. Источники света выпускаются самой различной мощности от десятков ватт до десятков киловатт, на различные напряжения, в колбах различных форм и различных размеров.

Величина освещенности на рабочем месте устанавливается по характеристике зрительной работы, которую определяет наименьший размер объекта различения, фон и контраст объекта с фоном, в соответствии со СНиП 23-05-95. Принято раздельное нормирование освещенности в зависимости от систем освещения и их конструктивного исполнения.

Искусственное освещение нормируется в люксах, а для естественного освещения в качестве нормируемой принята относительная величина - коэффициент естественной освещенности КЕО. Он определяется как выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке внутри помещения к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода:

$$КЕО = \frac{E_v}{E_n} \times 100\% \quad (2)$$

В помещениях с односторонним боковым освещением нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на расстоянии 1 м от наиболее удаленной от световых проемов стены. При двухстороннем естественном боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в середине помещения.

Следует иметь в виду, что в СНиП 23-05-95 приведены нормы естественной освещенности для III светового пояса (центр европейской части России). Для зданий, расположенных в других поясах светового климата - I, II, IV, V, - КЕО следует определять по формуле:

$$e_n = e_T^{III} \times m,$$

где  $e_T^{III}$  - табличное значение КЕО;  $m$  - коэффициент светового климата, определяемый в зависимости от района расположения здания на территории России.

Кроме количественного показателя КЕО существует качественная характеристика - неравномерность естественного освещения, определяемая как соотношение наибольшего и

наименьшего значений КЕО в пределах характерного разреза помещения. Неравномерность не должна превышать 2:1 для работ I и II разрядов и 3:1 для работ III и IV разрядов.

Задачей технического расчета осветительной установки может являться - либо определение числа или мощности источников света, обеспечивающих нормированную освещенность, либо определение фактической освещенности, создаваемой запроектированной осветительной установкой. Для расчета искусственного освещения используют в основном три метода.

Метод светового потока - для расчета общего равномерного освещения горизонтальной рабочей поверхности. Этот метод определяет эффективность использования светового потока источника света, которая зависит от таких факторов, как светораспределение и размещение светильников в помещении, отражающие свойства поверхностей и соотношение размеров помещения.

По методу удельной мощности проводится упрощенный расчет осветительных установок при равномерном размещении стандартных светильников общего освещения. Значения удельной мощности установок приводятся в нормативах в зависимости от уровня освещенности, площади помещения, высоты подвеса и типа светильников.

Точечный метод применяют для расчета локализованного и комбинированного освещения. Он дает возможность определить световой поток и мощность источника света, необходимые для создания заданной освещенности на расположенной в любой плоскости поверхности и при любом расположении светильников. Точечный метод основан на соотношении освещенности и силы света:

$$E_A = \frac{J_A \times \cos \beta}{r^2}, \quad (3)$$

где  $J_A$  - сила света в направлении от источника на данную точку А рабочей поверхности, кд;  $r$  - расстояние от светильника до расчетной точки,  $\beta$  - угол между нормалью рабочей поверхности и направлением светового потока (рисунок).

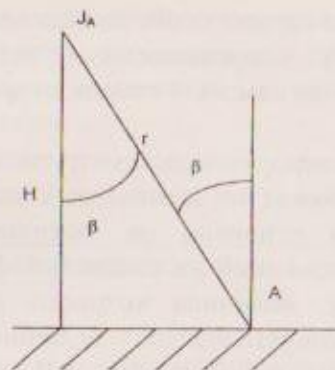


Схема расчета светового потока

Для практического расчета вводим в формулу коэффициент запаса  $K$  и поскольку  $r = H / \cos \beta$  получим:

$$E_A = \frac{J_A \times \cos^3 \beta}{K \cdot H^2},$$

где  $H$  - высота подвеса источника света, м.

Коэффициент запаса  $K$  учитывает степень загрязненности помещения и уменьшения светового потока по времени в связи с изменением характеристик источника света.

Силу света, учитывая формулу (1), для равномерно распределенного светового потока в пределах угла  $\omega = \pi$  можно определить по формуле

$$J_A = \frac{F}{\pi} \quad (4)$$

Более точные данные о распределении силы света  $J_A$  можно почерпнуть из светотехнических справочников.

#### Экспериментальная установка

Установка для исследования искусственного освещения включает светильники общего освещения лаборатории и бокс с 5 источниками местного освещения (лампы накаливания), с помощью которых исследуется комбинированное освещение рабочего места. Все лампы накаливания подвешены на одной высоте и имеют различную мощность.

Лампы бокса служат также для исследования влияния цвета стен на величину освещенности помещения. Для этого в эксперименте одна из ламп с 4 сторон огораживается комплектом цветных пластин.

В работе используется люксметр типа Ю-116. Он состоит из фотоэлемента с набором поглотительных насадок и гальванометра. Действие прибора основано на фотоэлектрическом эффекте. Световой поток, падающий на селеновый фотоэлемент, вызывает электрический ток, величина которого фиксируется стрелкой гальванометра пропорционально величине светового потока. Прибор имеет две шкалы измерения: от 0 до 30лк и от 0 до 100лк и соответствующие им кнопки управления. При нажатии левой кнопки отсчет показаний ведется по шкале 0-30лк, при нажатии правой - по шкале 0-100лк. Наибольшую погрешность измерений прибор дает при малых отклонениях стрелки гальванометра. Поэтому на каждой шкале точкой обозначено допустимое начало измерения.

Для измерения больших освещенностей (свыше 100лк) на фотоэлемент надевают светопоглощающие насадки К, М, Р, Т. Насадка К выполнена в виде полусферы из белой светорассеивающей пластмассы и служит для уменьшения косинусной погрешности, связанной с углом падения света на фотоэлемент. Насадка К применяется только совместно с одной из насадок М, Р или Т. При использовании насадок К и М коэффициент ослабления светового потока 10, при использовании насадок К и Р - 100, а насадок К и Т - 1000. Показания прибора при использовании насадок умножают на соответствующий коэффициент ослабления.

#### Методика проведения эксперимента и интерпретация его результатов

##### 1. Исследование естественного освещения лаборатории.

1.1. Измерить внутреннюю освещенность  $E_n$  на уровне 0.8 м от пола (уровень поверхности рабочих мест) в пяти точках лаборатории по ее оси. Первое измерение провести на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, следующие -

на расстоянии 1 м друг от друга по направлению к световым проемам. В каждой точке выполнить по три отсчета, данные занести в табл.1. При измерениях фотоэлемент люксметра располагается горизонтально.

Таблица 1

Номер отсчета	$E_n$ на расстоянии, м					$E_n$
	1	2	3	4	5	
1						
2						
3						
Среднее значение						

1.2. Измерить наружную освещенность  $E_n$ , расположив при этом фотоэлемент на оконном стекле. Число отсчетов в измерительной точке - три.

1.3. Определить значение КЕО в измеренных точках лаборатории по формуле (2), результаты занести в табл.2.

1.4. Определить неравномерность естественного освещения по оси лаборатории, данные занести в табл.2.

1.5. Построить график распределения КЕО по оси лаборатории -  $КЕО = F(x)$ .

1.6. По СНиП 23-05-95 (Приложение 5) определить разряд работы и наименьший размер объекта различения, допустимые в лаборатории при существующем естественном освещении.

2. Исследование влияния цвета стен помещения на величину освещенности.

2.1. Огородив лампу № 1 в боксе с 4 сторон комплектом пластин белого цвета, включить освещение и измерить освещенность, поместив при этом фотоэлемент люксметра под лампу.

Таблица 2

КЕО в точках лаборатории на расстоянии от стены, м					Значения КЕО		Неравномерность естественного освещения $KEO_{max}/KEO_{min}$
1	2	3	4	5	Максимальное	Минимальное	

2.2. Последовательно устанавливая пластины черного, зеленого, желтого и других цветов, вновь измерить освещенность при неизменных положениях источника света и фотоэлемента люксметра. Результаты эксперимента представить в виде табл.3.

2.3. Сделать выводы о влиянии окраски стен на освещенность внутри бокса экспериментальной установки.

3. Исследование и расчет местного источника в системе комбинированного освещения.

3.1. По СНиП 23-05-95 (Приложение 5) определить освещенность  $E_x$  согласно предложенному преподавателем варианту (табл.4) в системе комбинированного освещения.

Таблица 3

Цвет пластин	Белый	Желтый	Красный	Синий	Зеленый	Черный
$E, \text{лк}$						

3.2. Замерить освещенность  $E_0$  создаваемую общей системой освещения на рабочем месте, где выполняется лабораторная работа. Для этого включить общее освещение лаборатории и фотоэлемент люксметра расположить на рабочем столе горизонтально.

Таблица 4

Варианты	Характер зрительной работы	Размер объекта различения, мм	Разряды подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Угол $\beta$ град
1	Наивысшая точность	менее 0.15	1г	$K=0.6$	$p=0.3$	45
2	Очень высокая точность	0.15-0.3	2в	$K=0.4$	$p=0.25$	30
3	Очень высокая точность	0.15-0.3	2г	$K=0.5$	$p=0.5$	30
4	Высокая точность	0.3-0.5	3а	$K=0.15$	$p=0.17$	30
5	Высокая точность	0.3-0.5	3б	$K=0.1$	$p=0.4$	45
6	Средняя точность	0.5-1	4а	$K=0.18$	$p=0.15$	30

3.3. Определить освещенность на рабочем месте, недостаточную для выполнения заданной работы согласно предложенного варианта (табл.4), по формуле:

$$E_A = E_K - E_0,$$

где  $E_A$  — освещенность, которую должен обеспечить местный источник света.

3.4. Используя формулы (3) и (4), вывести в общем виде формулу для определения необходимого светового потока  $F$ .

3.5. Рассчитать величину светового потока, используя данные расчета ( $E_A$ ) и следующие значения параметров:  $K=1.5$ ;  $H=0.37$  м;  $\beta$  — по варианту задания.

3.6. По рассчитанному световому потоку с помощью Приложения 6 определить тип и мощность лампы накаливания.

3.7. В боксе среди источников местного освещения выбрать лампу необходимой мощности, определить месторасположение расчетной точки А и измерить в ней освещенность.

3.8. Сделать вывод о соответствии системы освещения условиям заданной работы. Допускаются отклонения в пределах от - 10 до +20 % от  $E_A$ .

#### Контрольные вопросы

1. Назовите количественные и качественные показатели освещения.

2. Каковы системы и виды освещения?

3. В чем состоит принципиальная разница в нормировании естественной и искусственной освещенности?

4. Какие методы используются для расчета искусственного освещения?

5. Какие правила необходимо соблюдать при измерении освещения люксметром?

6. Что такое коэффициент естественной освещенности?

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица для вычисления относительной влажности по аспирационному психрометру

Градусы по сухому термометру	Градусы Цельсия по влажному термометру																					
	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17						
15	100																					
15,5	95	100																				
16	90	95	100																			
16,5	86	90	95	100																		
17	81	86	90	95	100																	
17,5	77	81	86	90	95	100																
18	73	77	82	86	91	95	100															
18,5	69	73	78	82	86	91	95	100														
19	66	70	74	78	82	86	91	95	100													
19,5	62	66	70	74	78	82	86	91	95	100												
20	59	63	66	70	74	78	83	87	91	96	100											
20,5	56	59	63	67	71	75	79	83	87	91	96	100										
21	53	56	60	64	67	71	75	79	83	87	91	96	100									
21,5	50	53	57	60	64	68	71	75	79	83	87	92	96	100								
22	47	50	54	57	61	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100							

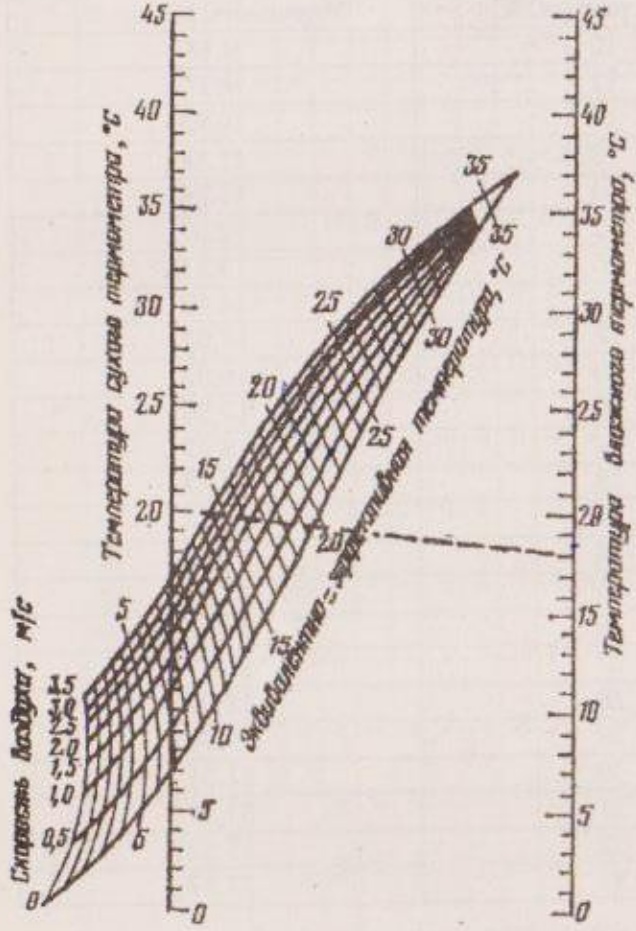
Градусы сухому термометру		Градусы цельсия по влажному термометру																	
		15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
23	42	45	48	51	55	58	62	65	69	72	76	80	84	88	92	96			
23,5	39	42	46	49	52	55	59	62	66	69	72	78	80	84	88	92			
24	37	40	43	46	49	53	56	59	63	66	70	73	77	80	84	88			
24,5	35	38	41	44	47	50	53	56	60	63	66	69	73	77	81	84			
25	33	36	38	41	44	47	50	54	57	60	63	67	70	74	77	81			
25,5	31	34	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	67	70	74	77			
26	29	32	34	37	40	43	46	48	52	55	58	61	64	67	71	74			
26,5	27	30	32	35	38	40	43	46	49	52	55	58	61	64	68	71			
27	25	28	30	33	36	38	41	44	47	50	52	55	58	62	65	68			
27,5	24	26	29	31	34	36	39	42	44	47	50	53	56	59	62	65			
28	22	25	27	29	32	34	37	40	42	45	48	50	53	56	59	62			
28,5	21	23	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	51	54	57	60			
29	19	21	24	26	28	31	33	36	38	41	43	46	49	51	54	57			
29,5	18	20	22	24	27	29	31	34	36	39	41	44	46	49	52	55			
30	17	19	21	23	25	27	30	32	34	37	39	42	44	47	50	52			

Упругость водяных паров в мм ртутного столба  
При разных температурах

Температура, °С	Упругость, мм рт. ст
10	9,14
11	9,77
12	10,43
13	11,14
14	11,88
15	12,67
16	13,51
17	14,40
18	14,93
19	16,32
20	17,36
21	18,47
22	19,63
23	20,86
24	22,05
25	23,52
26	24,96
27	26,47
28	28,07
29	29,74
30	31,51
31	33,37
32	35,32
33	37,37

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Номограмма эквивалентно-эффективных температур



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С						Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная		Допустимая		Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая*		
		Верхняя граница	Нижняя граница	На рабочих местах							
				Постоянных	Непостоянных	Постоянных	Непостоянных				
Холодный	Лёгкая Ia	21..24	25	26	21	18	40..60	75	0,1	Не более 0,1	
	Лёгкая Ib	21..23	24	25	20	17					
	Средняя IIa	18..20	23	24	17	15					
Тёплый	Средняя IIб	17..19	21	23	15	13	55 (при 28 °С) 60 (при 27 °С)	65 (при 26 °С) 70 (при 25 °С) 70 (при 24 °С и ниже)	0,2	0,2..0,2	
	Лёгкая Ia	25..25	28	30	22	20					
	Лёгкая Ib	22..24	28	30	21	19					
Тяжёлая III	Средней тяжести IIa	21..23	27	29	18	17	40..60	75	0,1	0,1..0,2	
	Средней тяжести IIб	20..22	27	29	16	15					
	Тяжёлая III	18..20	26	28	15	13					

\* На постоянных и непостоянных рабочих местах







Основные характеристики нормальных осветительных ламп накаливания по ГОСТ 2239-70 для номинальных напряжений 220 В

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм
B220-15	15	105
B220-25	25	210
B220-40	40	380
B220-60	60	730
B220-100	100	1120
B220-150	150	2000
B220-200	200	2800
B220-300	300	4500

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / Св. Белов, В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков. М.: Высш. шк., 2004. 606 с.
2. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарёв, Н.И. Сердюк. М.: Высш. шк., 2001. 319 с.
3. Асташкин В.П. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда: учеб. пособие / В.П. Асташкин. Воронеж: ВГТУ, 2004. Ч.1. 122 с.
4. Асташкин В.П. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда: учеб. пособие / В.П. Асташкин. Воронеж: ВГТУ, 2005. Ч.2. 153 с.
5. Ломов Б.Ф. Основы инженерной психологии: учебник для вузов / Б.Ф. Ломов. М.: Высшая школа, 1987. 334 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №7. Определение параметров микроклимата в производственном помещении .....	1
Лабораторная работа № 8. Исследование инерционности человека-оператора .....	13
Лабораторная работа № 9. Исследование освещенности рабочих мест .....	30
Приложение 1 .....	41
Приложение 2 .....	43
Приложение 3 .....	44
Приложение 4 .....	45
Приложение 5 .....	46
Приложение 6 .....	50
Библиографический список .....	51

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторным работам №7-9 по дисциплине  
«Безопасность жизнедеятельности» для студентов  
всех направлений, специальностей и форм обучения

Составители:  
Асташкин Валентин Петрович  
Мозговой Николай Васильевич

В авторской редакции

Компьютерный набор Т.П. Жукова, Е.А. Пашкова

Подписано в печать 20.06.2013.  
Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.  
Усл. печ. л. 3,4. Уч.-изд. л. 3,2. Тираж 105 экз. «С» 63.  
Зак. №

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14

2-131 Доганова

A3.

