

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет компьютерного проектирования

Кафедра инженерной психологии и эргономики

Н. В. Щербина

ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики
и радиоэлектроники в качестве пособия
для специальности
6-05-0611-01 «Информационные системы и технологии»*

Минск БГУИР 2026

УДК 331.45(076.5)

ББК 65.247я73

Щ61

Рецензенты:

кафедра управления охраной труда
учреждения образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет»
(протокол № 3 от 06.10.2025);

заместитель директора по учебной и научной работе ГУО «Республиканский
центр государственной экологической экспертизы, подготовки, повышения
квалификации и переподготовки кадров» Министерства природных ресурсов
и охраны окружающей среды Республики Беларусь
кандидат технических наук, доцент Д. А. Мельниченко

Щербина, Н. В.

Щ61 Основы промышленной безопасности. Лабораторный практикум :
пособие / Н. В. Щербина. – Минск : БГУИР, 2026. – 139 с. : ил.
ISBN 978-985-543-882-4.

Разработано в соответствии с программой курса «Основы промышленной безопасности». Приводятся общие теоретические сведения по изучаемым темам лабораторных занятий, методические указания по работе с виртуальными лабораторными стендами, шаблоны протоколов отчетов для каждого лабораторного исследования, вопросы для самоконтроля.

УДК 331.45(076.5)

ББК 65.247я73

ISBN 978-985-543-882-4

© Щербина Н. В., 2026

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа № 1. Исследование микроклиматических условий в рабочей зоне производственного помещения.....	5
Протокол отчета по лабораторной работе № 1.....	39
Лабораторная работа № 2. Исследование освещенности на рабочем месте при искусственном освещении.....	44
Протокол отчета по лабораторной работе № 2.....	64
Лабораторная работа № 3. Исследование эффективности вентиляционной системы	68
Протокол отчета по лабораторной работе № 3.....	87
Лабораторная работа № 4. Исследование процесса статической электризации при пневмотранспорте гранулированного материала	93
Протокол отчета по лабораторной работе № 4.....	111
Лабораторная работа № 5. Исследование электробезопасности электроустановок напряжением до 1000 В	114
Протокол отчета по лабораторной работе № 5.....	135

ВВЕДЕНИЕ

Данный лабораторный практикум разработан в соответствии с программой курса «Основы промышленной безопасности» для студентов специальности 6-05-0611-01 «Информационные системы и технологии». Для выполнения лабораторных работ приводится теоретический материал по изучаемым темам, описание виртуальных лабораторных стендов для проведения, шаблоны протоколов отчетов для каждого лабораторного исследования, вопросы для самоконтроля.

При выполнении лабораторного задания предусмотрено использование программного продукта «Виртуальная лаборатория», предоставленного разработчиком SunSpire. Выполнение лабораторного практикума предполагает использование пяти виртуальных стендов для проведения исследований опасности воспламенения смеси полимерных материалов при использовании пневмотранспорта, аэродинамических параметров общеобменной вентиляционной системы, освещенности на рабочем месте при различной организации производственного освещения и влияния окраски стен помещения на освещенность на рабочем месте, параметров микроклимата с использованием аналоговых и цифровых приборов, влияния параметров трехфазной трехпроводной сети напряжением до 1000 В на величину тока, протекающего через тело человека при его прикосновении к поврежденной электроустановке, и исследования эффективности технических способов обеспечения электробезопасности на рабочем месте.

При работе с виртуальными лабораторными стендами перемещение вида (виртуальной камеры) осуществляется с помощью мыши или клавиатуры. Для перемещения вида в плоскости экрана необходимо переместить указатель мыши к краям экрана. Также перемещение камеры в плоскости экрана можно осуществлять с помощью клавиш курсора (клавиш со стрелками) или текстовых клавиш «W», «A», «S», «D».

Приближение/отдаление виртуальной камеры осуществляется с помощью колеса мыши. Вращение колеса вперед приближает камеру к лабораторному столу, а вращение колеса в обратную сторону отдаляет камеру от стола.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

Цель: исследование параметров микроклимата с использованием приборов: барометра-анероида, психрометров Августа и Ассмана, кататермометра, крыльчатого анемометра АСО-3, метеометра МЭС-200А. Изучение принципа нормирования параметров микроклимата.

План занятия

- 1 Изучить теорию.
- 2 Выполнить лабораторную работу.
- 3 Оформить отчет и защитить работу.

Теоретические сведения

Требования к организации микроклимата на рабочих местах в офисных и производственных помещениях. Самочувствие и работоспособность человека зависят от микроклимата производственной среды.

Микроклимат – комплекс физических факторов, воздействующих на тепловое состояние и теплообмен человека с окружающей средой и влияющих на самочувствие, здоровье, работоспособность.

Нагревающий микроклимат – сочетание параметров производственного микроклимата, формирующегося при функционировании на рабочих местах источников инфракрасного излучения (далее – ИК) (открытое пламя; плавильные, нагревательные печи; сушильные камеры; нагретые, расплавленные металлы, стекломасса и другие виды сырья; нагретые поверхности оборудования; инсоляция при температуре наружного воздуха $+250^{\circ}\text{C}$ и выше).

Параметры производственного микроклимата – это показатели, характеризующие микроклимат в производственных и офисных помещениях:

- температура воздуха T , $^{\circ}\text{C}$;
- температура поверхностей (ограждающих конструкций, устройств, оборудования) T , $^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность воздуха φ , %;
- скорость движения воздуха v , м/с;
- интенсивность теплового излучения J , Вт/м².

Исследование и оценка параметров производственного микроклимата осуществляется в рабочей зоне. *Рабочей зоной* является пространство высотой

до 2 м от уровня пола или площадки с местами постоянного или временного пребывания работающих. *Постоянным* считается место, на котором работающий находится более 50 % рабочего времени за смену или более 2 ч своего рабочего времени непрерывно. Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Между телом человека и окружающей средой постоянно происходит теплообмен. Несмотря на колебания параметров внешней среды, температура тела поддерживается на относительно постоянном уровне (36,5–37 °С) за счет процессов терморегуляции в организме. Однако длительное нарушение параметров микроклимата может привести к негативным последствиям для организма. Так, воздействие высоких температур, особенно в сочетании с повышенной влажностью воздуха, приводит к значительному накоплению тепла и перегреву организма. Наблюдается головная боль, общая слабость, тошнота, обильное потоотделение. Происходит обезвоживание организма, потеря минеральных солей и водорастворимых витаминов, а также стойкое изменение в деятельности сердечно-сосудистой системы (увеличение частоты пульса, кровяного давления) и т. д.

Значительные перепады температур приводят к переохлаждению организма и возникновению простудных заболеваний, радикулита, функциональным сдвигам в сердечно-сосудистой системе и т. д. Особенно эти процессы усиливаются при повышенной влажности и скорости движения воздуха. *Поэтому в рабочей зоне производственного помещения должны обеспечиваться показатели микроклимата, сохраняющие тепловой баланс человека с окружающей средой, т. е. должны поддерживаться оптимальные и допустимые параметры микроклимата.*

Оптимальные значения параметров микроклимата – установленные по критериям оптимального теплового состояния человека значения микроклиматических показателей, которые обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Допустимые значения параметров микроклимата – минимальные или максимальные значения микроклиматических показателей, установленные по критериям теплового состояния человека на период 8-часовой рабочей смены и не вызывающие повреждений или нарушений состояния здоровья, но способные приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового

дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности к концу смены.

В местах пребывания работников в течение смены в зависимости от характеристики выполняемых работ по интенсивности энергозатрат (таблица 1.1) должны поддерживаться оптимальные или допустимые параметры микроклимата в соответствии с таблицами 1.2 и 1.3.

Таблица 1.1 – Характеристика отдельных категорий работ по интенсивности энергозатрат человека

Категория работ	Интенсивность энергозатрат, ккал/час (Вт)	Характеристика категории
Ia	до 120 (до 139)	Работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением
Iб	121–150 (140–174)	Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением
IIa	151–200 (175–232)	Работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения
IIб	201–250 (223–290)	Работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением
III	более 250 (более 290)	Работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие значительных физических усилий

Таблица 1.2 – Оптимальные значения параметров микроклимата на рабочих местах производственных и офисных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia	22–24	21–25	60–40	0,1
	Iб	21–23	20–24	60–40	0,1
	IIa	19–21	18–22	60–40	0,2
	IIб	17–19	16–20	60–40	0,2
	III	16–18	15–19	60–40	0,3
Теплый	Ia	23–25	22–26	60–40	0,1
	Iб	22–24	21–25	60–40	0,1
	IIa	20–22	19–23	60–40	0,2
	IIб	19–21	18–22	60–40	0,2
	III	18–20	17–21	60–40	0,3

Оптимальные значения параметров микроклимата в холодный и теплый периоды года необходимо соблюдать на рабочих местах производственных и офисных помещений, на которых выполняются работы, связанные с нервно-эмоциональным напряжением работника.

Перепады температуры воздуха по вертикали и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин параметров микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С и выходить за пределы величин для отдельных категорий работ, указанных в таблице 1.2.

Допустимые значения параметров микроклимата, воздействующие на работника непрерывно или суммарно за рабочую смену, в холодный и теплый периоды года устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные значения параметров микроклимата, и в соответствии с величинами, представленными в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Допустимые значения параметров микроклимата на рабочих местах производственных и офисных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температуры воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температуры воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia	20,0–21,9	24,1–25,0	19,0–26,0	15–75	0,1	0,1
	Iб	19,0–20,9	23,1–24,0	18,0–25,0	15–75	0,1	0,2
	IIa	17,0–18,9	21,1–23,0	16,0–24,0	15–75	0,1	0,4
	IIб	15,0–16,9	19,1–22,0	14,0–23,0	15–75	0,2	0,3
	III	13,0–15,9	18,1–21,0	12,0–22,0	15–75	0,2	0,4
Теплый	Ia	21,0–22,9	25,1–28,0	20,0–29,0	15–75	0,1	0,2
	Iб	20,0–21,9	24,1–28,0	19,0–28,0	15–75	0,1	0,3
	IIa	18,0–19,9	22,1–27,0	17,0–28,0	15–75	0,1	0,4
	IIб	16,0–17,9	21,1–27,0	15,0–28,0	15–75	0,2	0,5
	III	15,0–16,9	20,1–26,0	14,0–27,0	15–75	0,2	0,5

При обеспечении допустимых значений параметров микроклимата на рабочих местах необходимо учитывать, что перепад температуры воздуха по вертикали не должен превышать 3 °С, а по горизонтали должен соответствовать значениям, приведенным в таблице 1.4 для соответствующей категории работ.

Таблица 1.4 – Допустимые значения перепада температуры воздуха в течение смены по горизонтали в зависимости от категории энергозатрат работы

Категория работы	Перепад температуры воздуха, °С, не более
Ia и Ib	4
IIa и IIб	5
III	6

Порядок нормирования параметров микроклимата в рабочей зоне:

1 Определить среднесуточную температуру наружного воздуха. *Среднесуточная температура наружного воздуха* – средняя величина температуры наружного воздуха, измеренной в определенные часы суток через одинаковые интервалы времени, которая принимается по данным метеорологической службы.

2 Определить период года: теплый или холодный. *Теплый период года* – промежуток времени, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10 °С. *Холодный период года* – промежуток времени, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10 °С и ниже.

3 По таблице 1.1 определить категорию работ по интенсивности энергозатрат человека.

4 По таблицам 1.2 и 1.3 определить оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата на рабочих местах производственных и офисных помещений.

5 Исходя из производственных условий труда, технологических требований, технических и экономически обоснованных причин определить для заданных условий на рабочих местах производственных, офисных помещений необходимость поддержания оптимальных или допустимых значений показателей микроклимата.

В производственных помещениях, в которых допустимые значения параметров микроклимата *невозможно установить* из-за технологических требований к производственному процессу или экономически обоснованной нецелесообразности, *микроклиматические условия должны рассматриваться как вредные и опасные*, при которых нанимателю следует использовать меры

защиты работников, включающие кондиционирование воздуха, воздушное душирование, применение средств индивидуальной защиты, создание помещений для отдыха и обогрева, а также регламентировать время работы во вредных условиях труда.

Показатели скорости движения воздуха и относительной влажности при температуре воздуха, превышающей допустимые по таблице 1.3 значения, должны соответствовать значениям, приведенным в таблицах 1.5 и 1.6.

Таблица 1.5 – Допустимые значения диапазона скорости движения воздуха в зависимости от категории энергозатрат работы при температуре воздуха на рабочих местах в пределах от 26 до 28 °С

Категория работы	Скорость движения воздуха, м/с
Ia	0,1–0,2
Iб	0,1–0,3
IIa	0,2–0,4
IIб и III	0,2–0,5

Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе работы работник, не должна превышать 45 °С.

Таблица 1.6 – Максимально допустимые значения величины относительной влажности воздуха при температуре воздуха на рабочих местах от 25 °С и выше

Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
25	70
26	65
27	60
28	55

Допустимые значения интенсивности теплового облучения работников от производственных источников должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Допустимые значения интенсивности теплового облучения поверхности тела работника от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Допустимая интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25–50	70
не более 25	100

При облучении не более 25 % поверхности тела работающих от источников излучения, нагретых до красного и белого свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и другое), допустимые величины интенсивности теплового облучения *не должны превышать 140 Вт/м²*. При этом обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

При наличии теплового облучения работников температура воздуха на рабочих местах в зависимости от категории работ не должна превышать величин, приведенных в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Допустимые значения температуры воздуха при наличии теплового облучения работника в зависимости от категории энергозатрат работы

Категория работ	Температура воздуха, °С
Ia	не более 25
Iб	не более 24
IIa	не более 22
IIб	не более 21
III	не более 20

Для оценки сочетанного действия параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое облучение) в целях осуществления мероприятий по защите работников от возможного перегревания допускается использовать значения интегрального показателя *тепловой нагрузки среды* (далее – ТНС-индекс), выраженного одночисловым показателем в градусах Цельсия (°С), измерения и оценка которого аналогичны методам измерения и контроля температуры воздуха.

ТНС-индекс следует использовать для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах, на которых скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения менее 1200 Вт/м². ТНС-индекс определяется на основе величин температуры психрометра:

$$\text{ТНС} = 0,7 \cdot t_{\text{вл}} + 0,3 \cdot t_{\text{сух}}, \quad (1.1)$$

где $t_{\text{вл}}$ и $t_{\text{сух}}$ – температуры влажного и сухого термометров психрометра.

Значения ТНС-индекса на рабочих местах для соответствующих категорий работ с учетом времени воздействия не должны выходить за пределы величин, приведенных в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Допустимые величины ТНС-индекса с учетом продолжительности тепловой нагрузки среды (в часах), верхняя граница

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Величины ТНС-индекса, °С, на период, в часах							
	8	7	6	5	4	3	2	1
Ia (до 139)	22,7–24,5	24,9	25,3	25,8	26,6	27,2	28,2	29,5
Iб (140–174)	21,9–23,5	24,2	24,6	25,1	25,8	26,4	27,4	28,6
IIa (175–232)	21,2–22,6	23,1	23,5	24,0	24,6	25,2	26,2	27,4
IIб (233–290)	20,0–21,5	22,0	22,4	22,9	23,4	24,0	24,9	26,3
III (более 290)	18,8–20,4	20,9	21,3	21,7	22,2	22,7	23,6	25,0

Значения температуры воздуха для санитарно-бытовых помещений в холодный период года должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Допустимая температура воздуха в санитарно-бытовых помещениях производственных и офисных помещений в холодный период года

Тип помещения	Температура, °С
Помещения для отдыха, обогрева	22
Помещения для личной гигиены женщин	23

Требования к организации работы при температуре воздуха выше или ниже допустимых величин. При температуре воздуха выше или ниже допустимых величин наниматель наравне с использованием мер защиты от воздействия температуры воздуха должен принимать меры организационного характера по регулированию времени пребывания работников в этих условиях в соответствии с таблицами 1.11 и 1.12.

Таблица 1.11 – Предельное время пребывания работника на рабочем месте при температуре воздуха выше допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания при категории работ, не более, ч		
	Ia, Iб	IIa, IIб	III
32,5	1	–	–
32,0	2	–	–
31,5	2,5	1	–
31,0	3	2	–
30,5	4	2,5	1
30,0	5	3	2
29,5	5,5	4	2,5
29,0	6	5	3
28,5	7	5,5	4

Продолжение таблицы 1.11

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания при категории работ, не более, ч		
	Ia, Ib	IIa, IIb	III
28,0	8	6	5
27,5	—	7	5,5
27,0	—	8	6
26,5	—	—	7
26,0	—	—	8

Таблица 1.12 – Предельное время пребывания работника на рабочем месте при температуре воздуха ниже допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания при категории работ, не более, ч				
	Ia	Ib	IIa	IIb	III
6	—	—	—	—	1
7	—	—	—	—	2
8	—	—	—	1	3
9	—	—	—	2	4
10	—	—	1	3	5
11	—	—	2	4	6
12	—	1	3	5	7
13	1	2	4	6	8
14	2	3	5	7	—
15	3	4	6	8	—
16	4	5	7	—	—
17	5	6	8	—	—
18	6	7	—	—	—
19	7	8	—	—	—
20	8	—	—	—	—

Среднесменная температура воздуха, при которой работник находится в течение смены на рабочем месте и местах отдыха, не должна выходить за пределы допустимых значений температуры воздуха, указанных в таблице 1.3 для соответствующих категорий работ.

При температуре воздуха выше или ниже допустимых значений, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения на рабочих местах должны соответствовать в зависимости от категории работ допустимым значениям, приведенным в таблицах 1.5–1.7.

Требования к организации контроля и методам измерения значений показателей микроклимата в производственных и офисных помещениях. Измерения показателей микроклимата в целях контроля их соответствия требованиям должны проводиться в холодный период года – в дни с

температурой наружного воздуха, отличающейся от средней температуры наиболее холодного месяца зимы не более чем на 5 °С, в теплый период года – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней температуры наиболее жаркого месяца не более чем на 5 °С. Частота измерений в оба периода года определяется стабильностью производственного процесса, функционированием технологического и санитарно-технического оборудования.

При выборе участков и времени измерения необходимо учитывать все факторы, влияющие на микроклимат рабочих мест (фазы технологического процесса, функционирование систем вентиляции и отопления и другое). Измерения показателей микроклимата следует проводить не менее трех раз за смену (в начале, в середине и в конце). При колебаниях показателей микроклимата, связанных с технологическими и другими причинами, необходимо проводить дополнительные измерения при наибольших и наименьших величинах термических нагрузок на работающих.

Измерения следует проводить на рабочем месте. Если рабочим местом являются несколько участков (зон) производственного или офисного помещения, то измерения осуществляются на каждом из них.

При наличии источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения (нагретых агрегатов, окон, дверных проемов, ворот, открытых ванн и т. д.) измерения должны проводиться на каждом рабочем месте в точках, минимально и максимально удаленных от источников термического воздействия или влаговыведения.

В помещениях с большой плотностью рабочих мест при отсутствии источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения участки измерения показателей микроклимата должны распределяться равномерно по площади помещения. Минимальное количество участков измерения показателей микроклимата на рабочих местах в производственных и офисных помещениях определяется площадью помещения и должно соответствовать при площади помещения до 100 м² – не менее четырех участков; от 100 до 400 м² – не менее восьми. При площади помещения свыше 400 м² количество участков измерения определяется расстоянием между ними, которое не должно превышать 10 м.

При работах, выполняемых сидя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,0 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,0 м от пола или рабочей площадки. При работах, выполняемых стоя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,5 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,5 м.

При наличии источников лучистого тепла тепловое облучение на рабочем месте необходимо измерять от каждого источника, располагая приемник прибора перпендикулярно падающему потоку. Измерения следует проводить на высоте 0,5; 1,0 и 1,5 м от пола или рабочей площадки.

Температуру поверхностей следует измерять в случаях, когда рабочие места удалены от них на расстояние не более 2 м.

При наличии источников теплового излучения и воздушных потоков на рабочем месте температуру и относительную влажность воздуха следует измерять оборудованием, имеющим экранирующие устройства.

Скорость движения воздуха может измеряться *анемометрами* механического типа действия (крыльчатые, чашечные анемометры). Малые величины скорости движения воздуха, особенно при наличии разнонаправленных воздушных потоков в точке замера, следует измерять *термоанемометрами* (измеряемая скорость воздушного потока от 0,1 м/с). Допускается использование также цилиндрических или шаровых *кататермометров* при защите их от прямого теплового излучения.

Температура поверхностей должна измеряться контактными (электротермометры) или дистанционными (пирометры) приборами.

Интенсивность теплового облучения следует измерять приборами, обеспечивающими угол видимости датчика, близкий к полусфере (не менее 160°), и чувствительными в инфракрасной и видимой области спектра (*актинометры, радиометры*).

Все оборудование, используемое для измерения показателей микроклимата, должно проходить метрологическую поверку в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

По результатам исследования составляется протокол измерений показателей микроклимата, в котором должны быть отражены время и место измерений, общие сведения об обследуемом объекте, указываются средства измерения, нормативно-техническая документация, в соответствии с которой проводились измерения и давалось заключение, должность и фамилия представителя обследуемой организации, в присутствии которого выполнены измерения, указываются источники тепловыделения, охлаждения, влаговыведения, наличие и работа вентиляционного и отопительного оборудования, приводятся результаты измерения параметров микроклимата.

В заключении протокола должна быть дана оценка результатов выполненных измерений на соответствие требованиям Санитарных правил, Гигиенического норматива [1, 2]. Протокол подписывается представителями контролирующей организации и представителем обследуемого объекта.

Требования к производственным помещениям и организации технологических процессов. Снижение неблагоприятного воздействия нагревающего микроклимата должно осуществляться на основе санитарно-технических, архитектурно-планировочных, организационно-технологических, медико-профилактических мер, а также с применением средств коллективной и индивидуальной защиты.

На рабочих местах должны предусматриваться меры по снижению тепловых нагрузок, связанных как с технологическим процессом, так и воздействием высоких наружных температур, инсоляции, в том числе носящих временный характер.

Инсоляция – облучение прямыми солнечными лучами зданий, помещений и территорий, оказывающее световое, ультрафиолетовое и тепловое (радиационное) воздействие.

Для защиты работающих от повышенных температур, ИК-излучения должны предусматриваться методы и средства механизации, автоматизации, дистанционного управления технологическими процессами и оборудованием, а также рациональное планирование производственных помещений с тепловыделяющим оборудованием.

Размещение технологического оборудования и способы его обслуживания должны обеспечивать минимально возможное время пребывания работающего в зоне ИК-облучения, параметры которого превышают допустимые уровни на рабочем месте; оптимизация времени нахождения в условиях влияния повышенных температур, ИК-облучения на непостоянных рабочих местах должна быть обеспечена разработкой оптимальных маршрутов обхода и обслуживания технологического оборудования.

Плавильные, нагревательные печи, сушильные камеры, нагретые поверхности паропроводов, трубопроводов и иные виды тепловыделяющего оборудования, а также источники ИК-излучения должны быть обеспечены устройствами и приспособлениями, предотвращающими или ограничивающими выделение тепла в производственное помещение, с использованием методов герметизации, теплоизоляции, экранирования, отведения тепла.

Для снижения влияния ИК-облучения должны применяться стационарные или переносные теплоотражающие, теплопоглощающие, теплоотводящие экраны, щиты, «водные занавески», ширмы и иные средства защиты работающих от избыточного ИК-облучения и сохраняющие теплозащитные качества при их эксплуатации.

В целях защиты работающих от инсоляции при работах на открытой территории, снижения интенсивности солнечного потока на рабочих местах должны применяться переносные тенты, навесы и другие сооружения и приспособления.

Для ограничения теплового воздействия инсоляции должны применяться меры по планировке и ориентации производственных корпусов и цехов, благоустройству территорий, рациональному озеленению, применению затеняющих устройств. Меры по ограничению избыточного влияния солнечной радиации не должны приводить к нарушению норм естественного освещения на рабочих местах и в помещениях.

В помещениях со значительными площадями остекленных поверхностей защита от перегрева при влиянии прямых солнечных лучей в теплый период года должна быть обеспечена установкой жалюзи, ориентацией оконных проемов и другими мерами.

При невозможности обеспечения солнцезащиты помещений применением мер по планировке и ориентации, а также при наличии на рабочих местах источников ИК-излучения должны быть предусмотрены вентиляция и кондиционирование, внутренние системы охлаждения, экраны и другие средства коллективной защиты от ИК-облучения, высоких температур.

В производственных помещениях с нагревающим микроклиматом должна применяться естественная вентиляция с расположением аэрационных фонарей и шахт непосредственно над основными источниками тепла.

Помещения, в которых параметры микроклиматических условий не могут быть обеспечены естественной вентиляцией, а также помещения и зоны без возможности проветривания должны быть оборудованы системами механической вентиляции, устройствами кондиционирования.

Для удаления тепловыделений от единичных, локализованных источников тепла на рабочих местах должны применяться кожухи с механическим отсосом, вытяжные зонты, локальные отсосы.

Для снижения влияния на работающих нагревающего микроклимата применяют воздушное душирование с использованием настольных, напольных, потолочных вентиляторов, промышленных аэраторов и приточных вентиляционных систем, водовоздушное душирование, высокодисперсное водораспыление и иные методы, обеспечивающие принудительную подачу воздуха.

Для охлаждения воздуха, поступающего в цеха с нагревающим микроклиматом, открытые въездные проемы должны быть оборудованы форсунками для распыления воды.

Кондиционирование должно применяться в замкнутых и небольших по объему производственных помещениях при выполнении операторских и иных работ на постах и пультах управления, в изолированных боксах, кабинах кранов, а также комнатах отдыха.

Уборка в цехах должна проводиться влажным способом.

Требования к организации и ведению работ в условиях нагревающего микроклимата, режимам труда и отдыха, санитарно-бытовому обеспечению работающих. Защита работающих от перегрева должна осуществляться уменьшением времени пребывания работника в условиях нагревающего микроклимата, если особенности технологического процесса, инсоляция не позволяют обеспечить допустимые параметры производственного микроклимата.

При выполнении работ в условиях нагревающего микроклимата должна быть предусмотрена регламентация времени работ и продолжительность перерывов для отдыха и питания работающих в соответствии с Гигиеническим нормативом [1], устанавливающим показатели микроклимата производственных и офисных помещений (см. таблицы 1.2; 1.3; 1.11; 1.12).

В целях предупреждения заболеваний, связанных с влиянием повышенных температур, работающие должны проходить обязательные медицинские осмотры в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь

При работах в условиях воздействия высоких температур, в том числе в условиях инсоляции на открытой территории, должны быть предусмотрены комнаты, кабины для отдыха и питания работников, дополнительных специальных перерывов.

Организация лабораторного контроля за состоянием микроклиматических условий на рабочих местах должна осуществляться в соответствии с Санитарными нормами и правилами, устанавливающими требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов. При отклонении параметров микроклимата от допустимых величин должны быть разработаны меры для нормализации микроклиматических условий.

Для предупреждения неблагоприятного влияния нагревающего микроклимата следует определять, кроме температуры, также относительную влажность, скорость движения воздуха, интенсивность ИК-излучения, индекс тепловой нагрузки среды, температуру поверхностей с итоговой оценкой микроклимата по показателю, отнесенному к наибольшей степени вредности.

Требования к обеспечению средствами индивидуальной защиты и питьевому режиму. Работающие в условиях повышенных температур должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты с учетом характера проводимых

работ в соответствии с Инструкцией о порядке обеспечения работников средствами индивидуальной защиты, утвержденной постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 30 декабря 2008 г. № 209.

При работах в условиях нагревающего микроклимата работающие должны быть обеспечены питьевой водой с температурой жидкости в пределах 8–20 °С. При отсутствии хозяйственно-питьевого водопровода работающие должны быть обеспечены бутилированной питьевой водой (не менее 3 л в смену на одного работника).

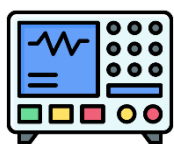
Для работающих в условиях нагревающего микроклимата должны быть оборудованы сатураторные установки, кулеры и другие питьевые установки, расположенные не далее 75 м от рабочих мест. Необходимо иметь питьевые установки в гардеробных, пунктах питания, здравпунктах, в комнатах и местах отдыха работающих и укрытиях от солнечной радиации.

Работающие, которые по условиям производства не имеют возможности покинуть рабочее место, обеспечиваются питьевой водой непосредственно на рабочих местах.

Ход выполнения имитационных опытов

На рисунке 1.1 представлено виртуальное пространство лабораторной работы.

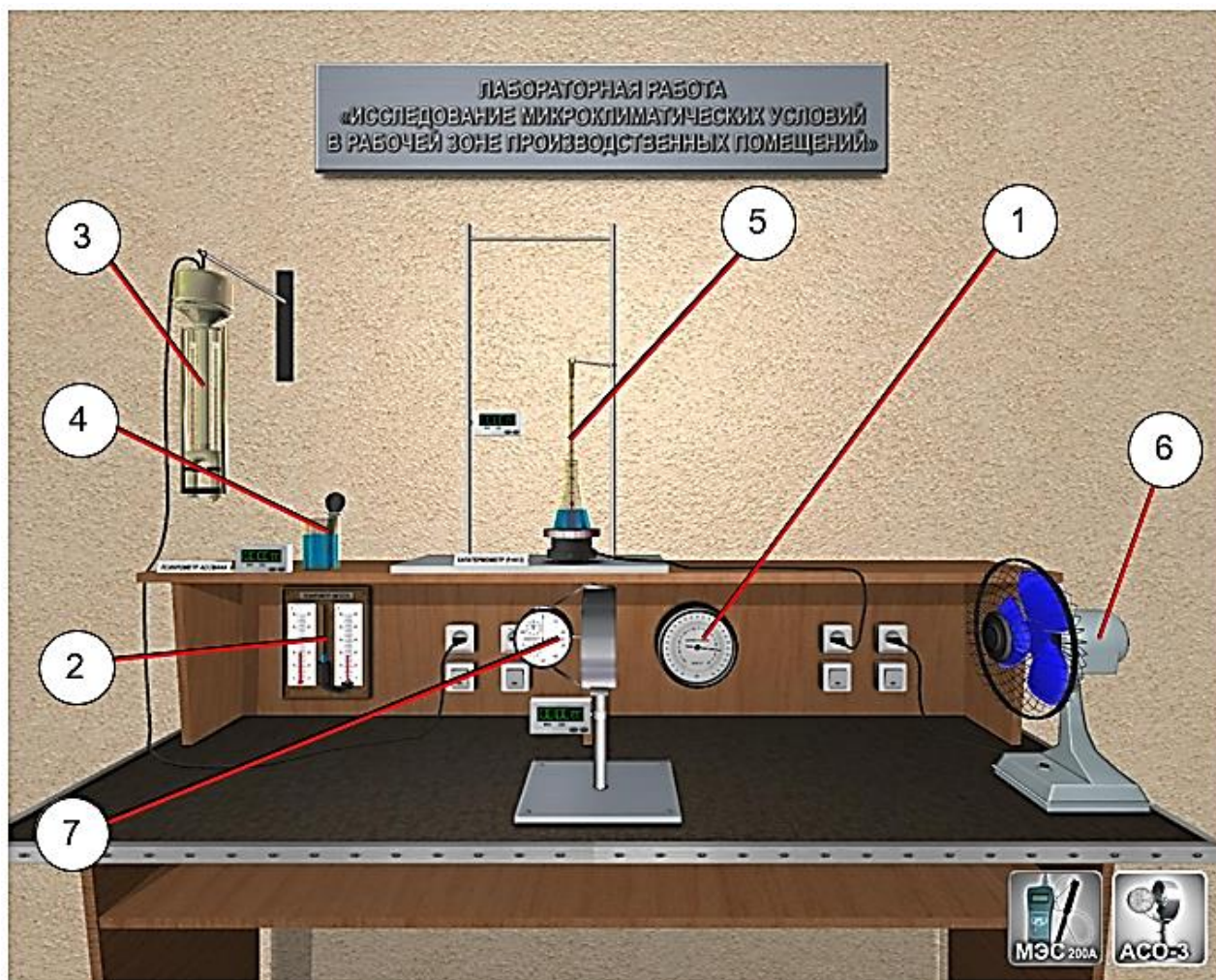
Проведение лабораторной работы включает последовательное выполнение ряда имитационных опытов. Выполнение каждого имитационного опыта заключается в совершении ряда последовательных действий согласно стандартной методике эксперимента.



Имитационный опыт № 1. Изучить принцип работы приборов: барометр-анероид, психрометров Августа и Ассмана. Определить величину атмосферного давления в помещении. Измерить температуру воздуха в помещении. Определить величину относительной влажности воздуха в помещении.

Измерение температуры воздуха в производственных помещениях обычно сочетается с определением влажности и производится по сухому термометру психрометра.

Зафиксируйте величину атмосферного давления, приблизив камеру к барометру-анероиду (рисунок 1.2). Наружная шкала прибора показывает давление в килопаскалях (кПа), а внутренняя шкала, соответственно, в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.).



- 1 – барометр-анероид; 2 – психрометр Августа; 3 – психрометр Ассмана;
 4 – пипетка для смачивания ткани влажного термометра психрометра Ассмана;
 5 – кататермометр; 6 – настольный вентилятор;
 7 – крыльчатый анемометр АСО-3

Рисунок 1.1 – Виртуальное пространство лабораторной работы

Измерьте температуру воздуха в помещении. Температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) определяется по показанию сухого термометра психрометра Августа (рисунок 1.3, а) или психрометра Ассмана (рисунок 1.3, б).

При запуске виртуальной лабораторной работы оба термометра психрометра Ассмана показывают одинаковую температуру, соответствующую температуре воздуха в помещении. Чтобы произвести требуемые измерения, смочите ткань (батист) правого термометра прибора, а затем произведите обдув термометров.

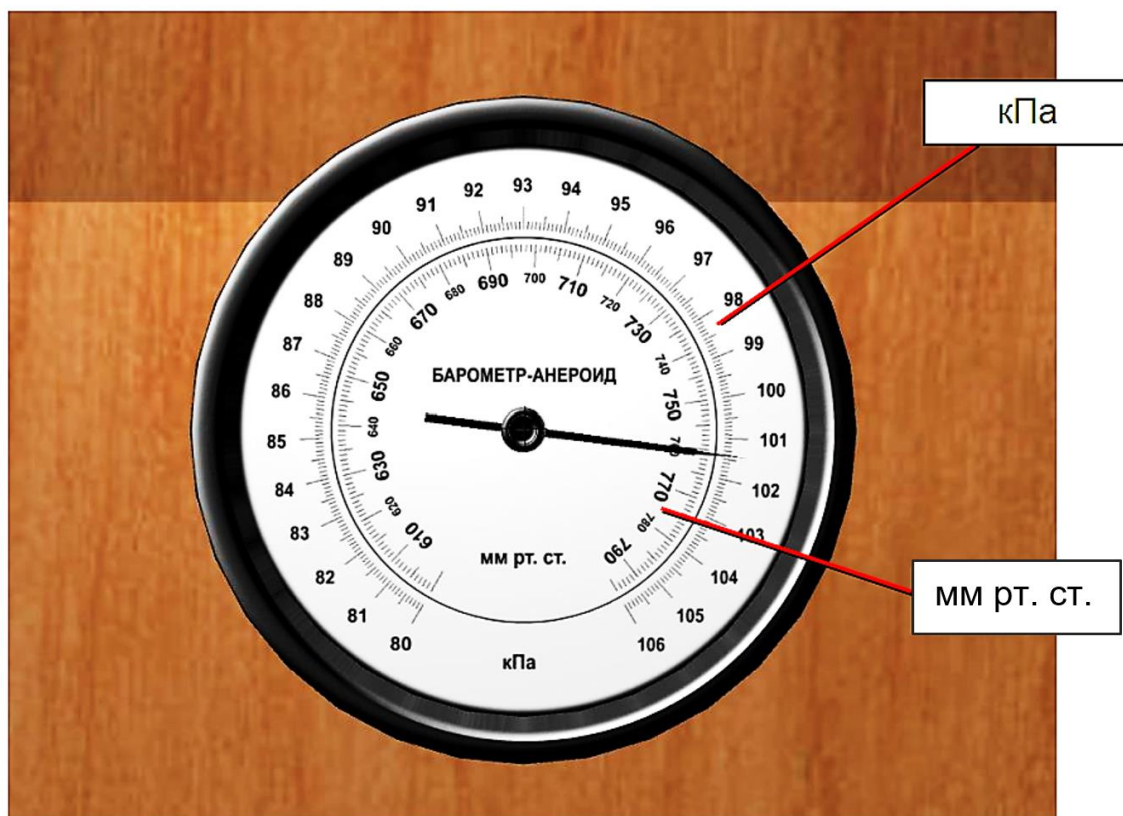


Рисунок 1.2 – Снятие показаний с барометра-анероида

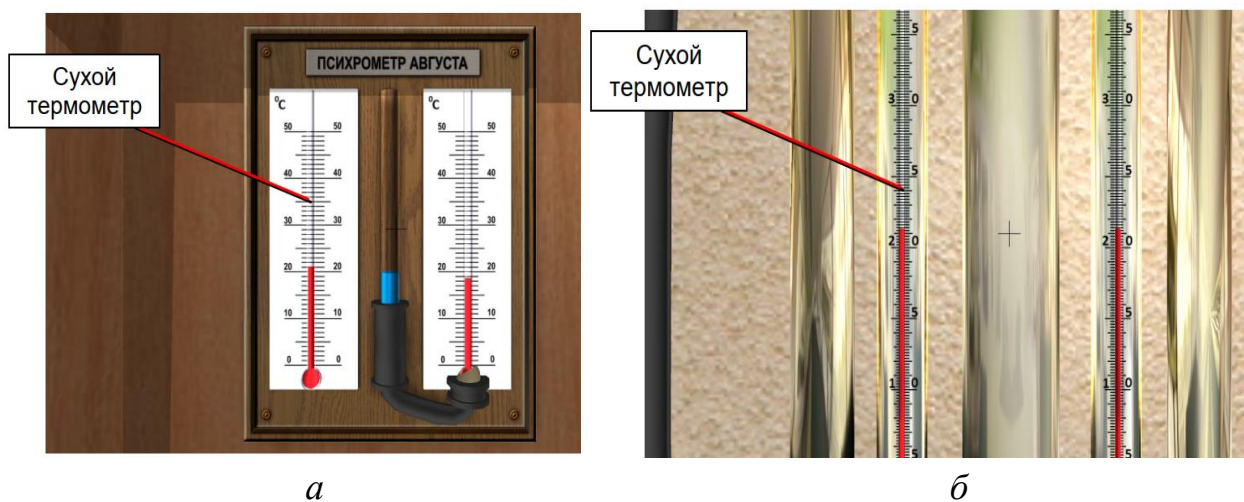


Рисунок 1.3 – Снятие показаний с психрометров Августа (а) и Ассмана (б)

Наведите указатель мыши на емкость с водой, расположенную справа от прибора. При этом пипетка отобразится желтым цветом (рисунок 1.4, б).

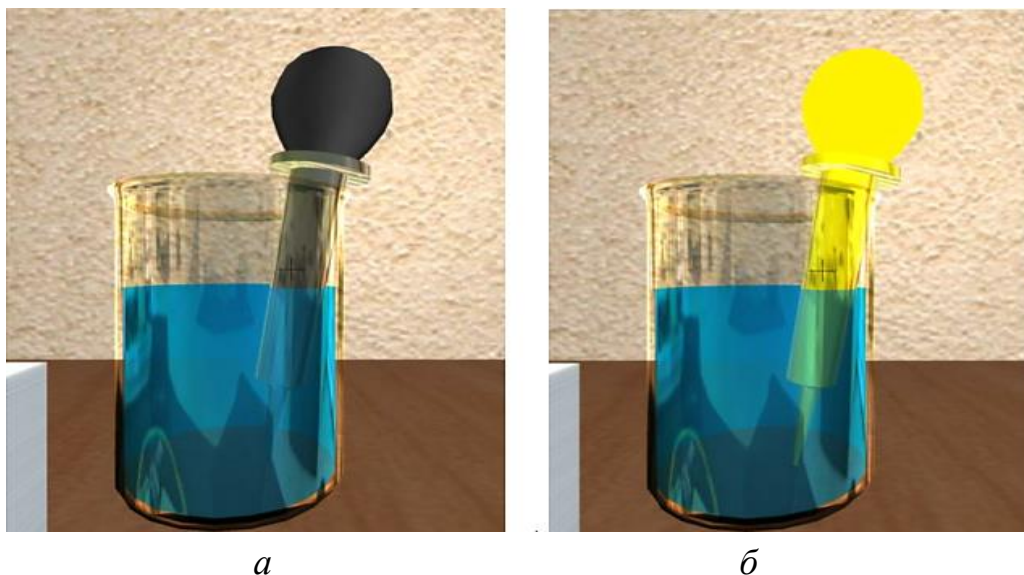


Рисунок 1.4 – Емкость с водой для смачивания батиста правого термометра психрометра Ассмана: до наведения (*а*) и после наведения (*б*) указателя мыши на емкость

Когда пипетка будет выделена желтым цветом (рисунок 1.4, *б*), кликните левой кнопкой мыши, после чего будет произведено смачивание батиста правого термометра прибора в автоматическом режиме.

После смачивания батиста правого термометра прибор готов к работе. Для включения электромотора психрометра наведите указатель мыши на соответствующий выключатель на стенде (при этом выключатель отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 1.5).

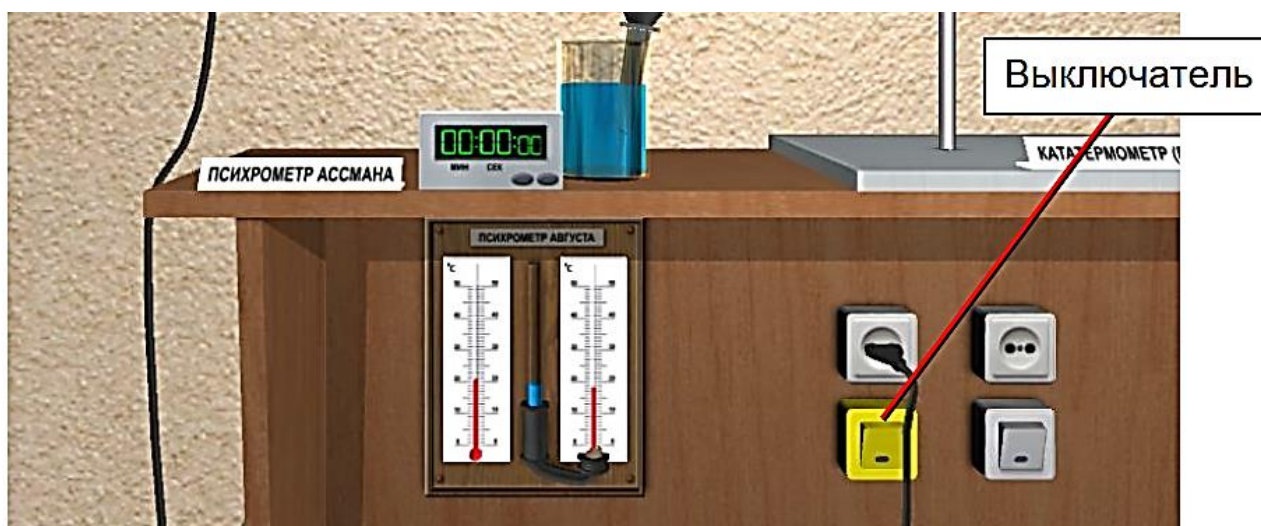


Рисунок 1.5 – Включение электромотора психрометра Ассмана

В соответствии со стандартной методикой обдув термометров осуществляется в течение 10 мин. Время обдува фиксируется соответствующим секундомером, расположенным под психрометром Ассмана (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Секундомер для отслеживания времени обдува термометров психрометра Ассмана

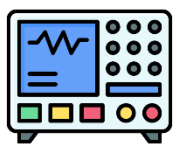
По окончании процесса обдува необходимо выключить электромотор (повторным кликом левой кнопки мыши по выключателю).

Зафиксируйте показание правого термометра психрометра Ассмана. Определите величину относительной влажности воздуха по таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Психометрическая таблица

Показания сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометра, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	81	63	45	28	11	–	–	–	–	–
2	100	84	68	51	35	20	–	–	–	–	–
4	100	85	70	56	42	28	14	–	–	–	–
6	100	86	73	60	47	35	23	10	–	–	–
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	–	–
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	–
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	–
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

После проведения эксперимента (спустя определенное время) прибор возвращается в исходное состояние, что позволяет провести опыт повторно.



***Имитационный опыт № 2.** Изучить принцип работы кататермометра. Определить охлаждающую способность воздуха и скорость воздуха в помещении.*

Для измерения скорости в производственном помещении применяют анемометры – чашечные и крыльчатые. Чашечные применяют при измерениях больших скоростей (до 35 м/с) и в условиях часто меняющихся направлений или турбулентности воздушных потоков. При измерениях скоростей в пределах 0,5–10 м/с пользуются крыльчатыми анемометрами. Для измерения малых скоростей ($< 0,5$ м/с) применяют микроанемометры, электроанемометры и кататермометры.

Выполните имитационный опыт с применением кататермометра.

При запуске виртуальной лабораторной работы кататермометр установлен на правом штативе таким образом, что сферическая часть прибора помещена в колбу с водой (водяную баню), которая в свою очередь размещена на поверхности нагревательного элемента (рисунок 1.7).

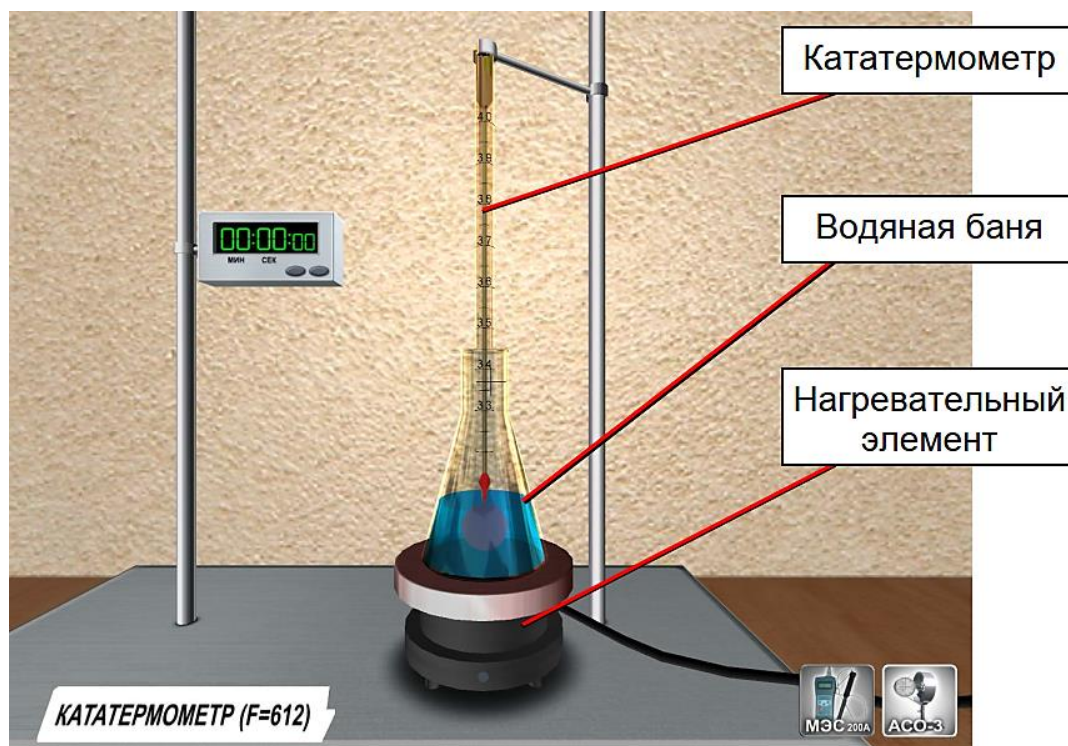


Рисунок 1.7 – Положение кататермометра до начала нагрева водяной бани

Шкала кататермометра градуирована от 33 до 40 °С. До начала нагрева водяной бани отметка столбика спирта в кататермометре расположена в нижнем расширении прибора, что соответствует комнатной температуре воздуха.

В начале опыта необходимо нагреть водяную баню с кататермометром до требуемой температуры (60–80 °С). Для включения нагревательного элемента наведите указатель мыши на соответствующий выключатель на стенде (при этом выключатель отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 1.8).

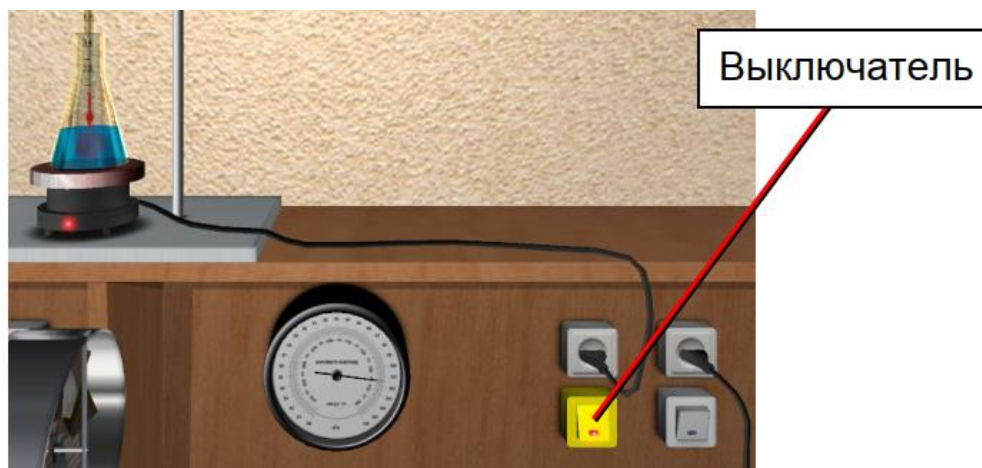


Рисунок 1.8 – Включение нагревательного элемента

В процессе нагрева столбик спирта кататермометра будет подниматься по шкале. Нагрев останавливается, когда отметка столбика спирта достигнет середины верхнего расширения кататермометра (рисунок 1.9). Для отключения нагревательного элемента повторно щелкните по выключателю на стенде.



Рисунок 1.9 – Отметка максимальной температуры нагрева кататермометра

Наведите указатель мыши на кататермометр (при этом прибор отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши.

Извлечение кататермометра из водяной бани и его тщательное вытирание сухой тканью (рисунок 1.10, а) производится автоматически, после чего кататермометр устанавливается на левый штатив, где происходит постепенное охлаждение прибора (рисунок 1.10, б).

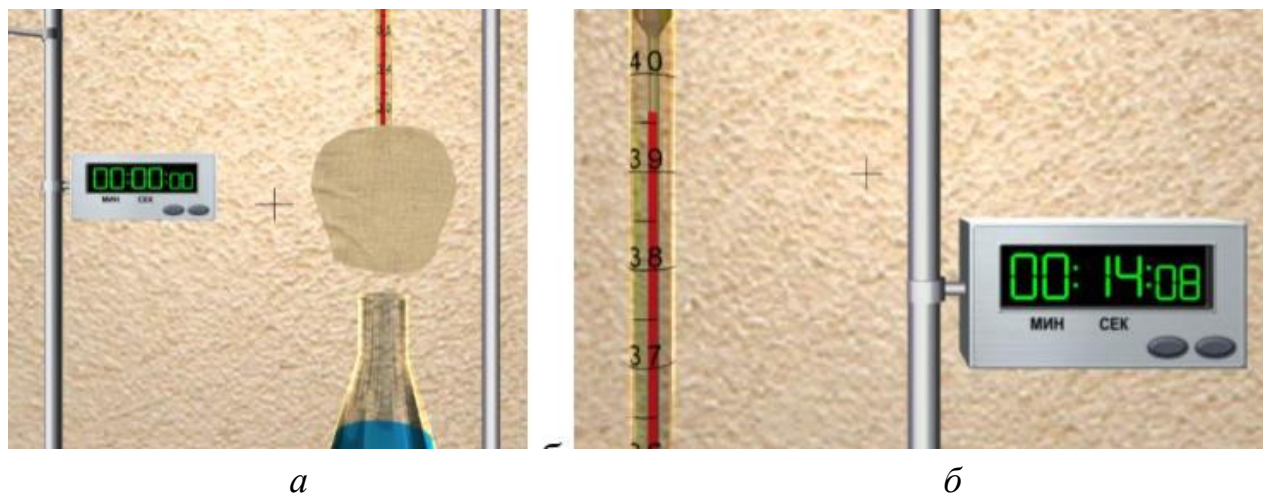


Рисунок 1.10 – Извлечение кататермометра из водяной бани (а) и его постепенное охлаждение (б)

Отметьте время t , в течение которого происходит охлаждение кататермометра от температуры $T_1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_2 = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$, оно фиксируется секундомером (рисунок 1.10, б).

Для каждого прибора предварительным тарированием найдите фактор F , определяющий теплоотдачу в милликалориях с 1 см^2 поверхности нижнего резервуара при указанном охлаждении кататермометра. Величина F указана на информационной табличке рядом с прибором. Константа кататермометра Φ , определяющая величину теплоотдачи при охлаждении на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, равна

$$\Phi = \frac{F}{3}, \frac{\text{мкал}}{\text{см}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}. \quad (1.2)$$

Зная время t , в течении которого произошло охлаждение, можно определить охлаждающую силу воздуха H , т. е. количество тепла, теряемого кататермометром при данных условиях воздушной среды в единицу времени:

$$H = \frac{\Phi (T_1 - T_2)}{t}, \frac{\text{мкал}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}. \quad (1.3)$$

Для определения скорости движения воздуха необходимо знать разность Q между средней температурой кататермометра во время опыта ($(T_1 + T_2) / 2 = (40 + 33) / 2 = 36,5 \text{ }^\circ\text{C}$) и средней температурой воздуха в производственном помещении:

$$Q = 36,5 - \frac{T_{\text{сух}}}{2}. \quad (1.4)$$

Затем определите отношение H / Q и по таблице 1.14 найдите соответствующее значение скорости движения воздуха $v_{\text{табл}}$, м/с.

Таблица 1.14 – Нахождение скорости движения воздуха $v_{\text{табл}}$ по шаровому кататермометру

H/Q	$v_{\text{табл}}$	H/Q	$v_{\text{табл}}$	H/Q	$v_{\text{табл}}$
0,3	0,001	0,47	0,33	0,64	1,15
0,31	0,016	0,48	0,36	0,65	1,19
0,32	0,035	0,49	0,40	0,66	1,22
0,33	0,046	0,5	0,44	0,67	1,27
0,34	0,062	0,51	0,48	0,68	1,31
0,35	0,077	0,52	0,52	0,69	1,35
0,36	0,09	0,53	0,57	0,70	1,39
0,37	0,11	0,54	0,62	0,71	1,43
0,38	0,12	0,55	0,68	0,72	1,48
0,39	0,14	0,56	0,73	0,73	1,52
0,40	0,16	0,57	0,80	0,74	1,57
0,41	0,18	0,58	0,88	0,75	1,60
0,42	0,20	0,59	0,97	0,76	1,70
0,43	0,22	0,60	1,00	0,77	1,70
0,44	0,25	0,61	1,03	0,78	1,75
0,45	0,27	0,62	1,07	0,79	1,79
0,46	0,30	0,63	1,11	0,80	1,84

Скорость движения воздуха $v_{\text{расч}}$ по показаниям кататермометра рассчитайте по формулам:

– при скорости движения воздуха меньше 1 м/с:

$$v_{\text{расч}} = \left(\frac{H/Q - 0,2}{0,4} \right)^2, \text{ м/с;} \quad (1.5)$$

– при скорости движения воздуха больше 1 м/с:

$$v_{\text{расч}} = \left(\frac{H/Q - 0,2}{0,47} \right)^2, \text{ м/с.} \quad (1.6)$$

Занесите в отчет следующие значения:

- время охлаждения кататермометра;
- константу кататермометра;
- охлаждающую способность воздуха;
- разность между температурами;
- скорость движения воздуха в производственном помещении.

После полного охлаждения кататермометр необходимо вернуть в исходную позицию, для чего наведите указатель мыши на прибор и кликните по нему левой кнопкой мыши. После приведения прибора в исходное состояние опыт можно провести повторно.



Имитационный опыт № 3. Изучить принцип работы крыльчатого анемометра АСО-3. Определить скорость воздуха в помещении.

При запуске виртуальной лабораторной работы по умолчанию на рабочем месте установлен крыльчатый анемометр АСО-3 на расстоянии 0,5 м от настольного вентилятора (рисунок 1.11).

Работа с анемометром осуществляется при включенном вентиляторе. Для включения вентилятора в сеть наведите указатель мыши на соответствующий выключатель на стенде и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 1.11).

Анемометр АСО-3 состоит из штатива, вращающейся крыльчатки, счетного механизма, а также закрепленного на штативе секундомера (рисунок 1.12).

Для замера скорости вращения крыльчатки наведите указатель мыши на счетный механизм и кликните левой кнопкой мыши. Повторный клик левой кнопкой мыши по счетному механизму приведет к его остановке. Каждый замер количества совершенных оборотов сопровождается замером времени вращения крыльчатки. Время вращения крыльчатки фиксируется секундомером. При каждом включении счетного механизма время на секундомере обнуляется. Циферблат счетного механизма включает три шкалы (единиц, сотен, тысяч). При повторном запуске счетного механизма предыдущие показания сохраняются, следовательно, в отчете фиксируется начальный и конечный отсчеты по прибору (рисунок 1.13).

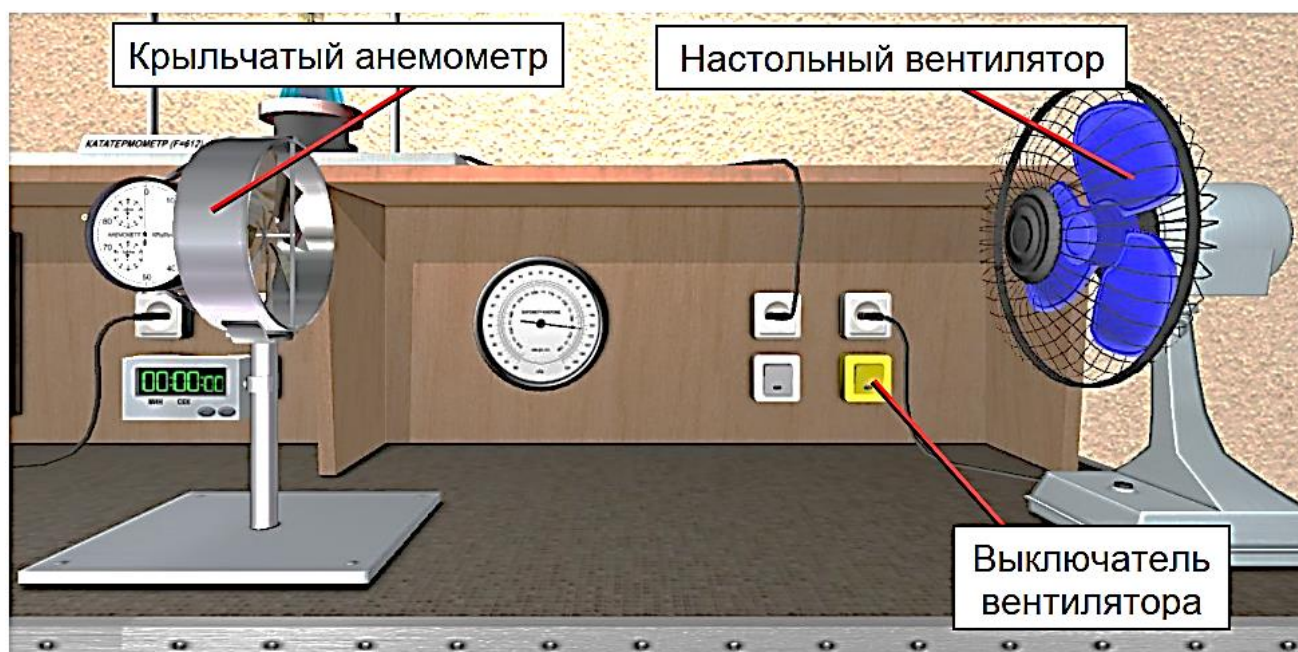


Рисунок 1.11 – Рабочее положение крыльчатого анемометра АСО-3



Рисунок 1.12 – Конструкция крыльчатого анемометра АСО-3

Определите скорость воздушного потока. Для этого зафиксируйте начальное показание счетчика, запустите механизм, по истечении 1–2 мин выключите механизм и зафиксируйте конечное показание счетчика и длительность замера. Делением разности конечного и начального показаний счетчика на время замера определите число делений, приходящихся на 1 с.

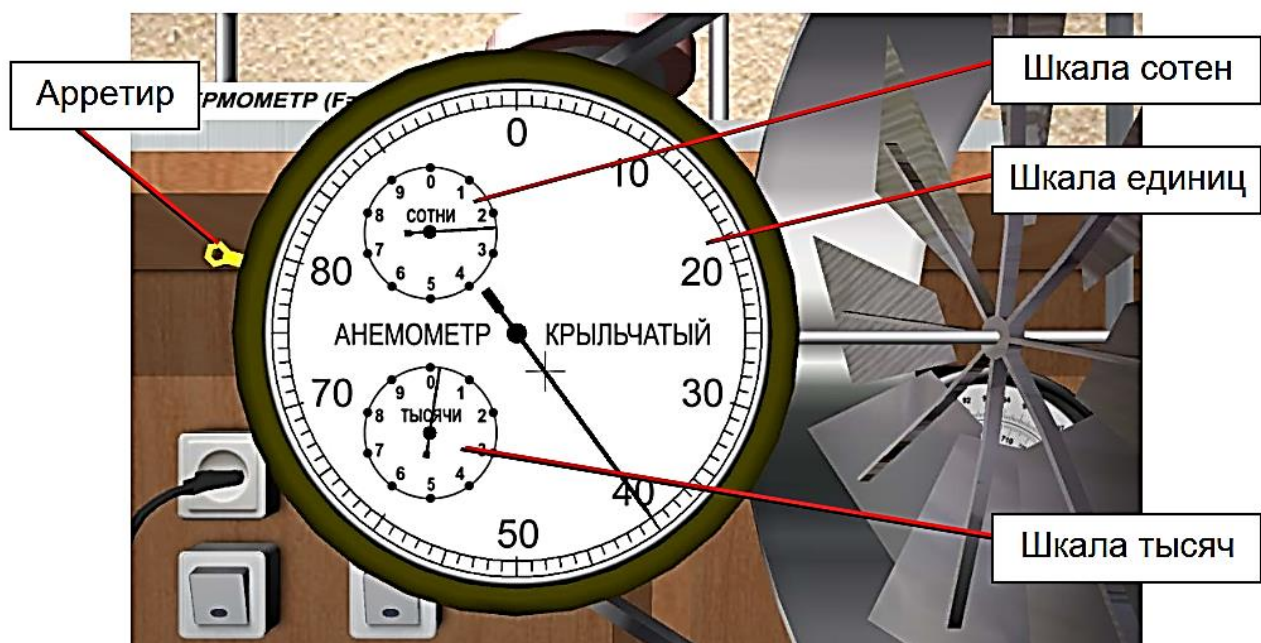


Рисунок 1.13 – Счетный механизм крыльчатого анемометра АСО-3

Скорость ветра в помещении определите по графику на рисунке 1.14.

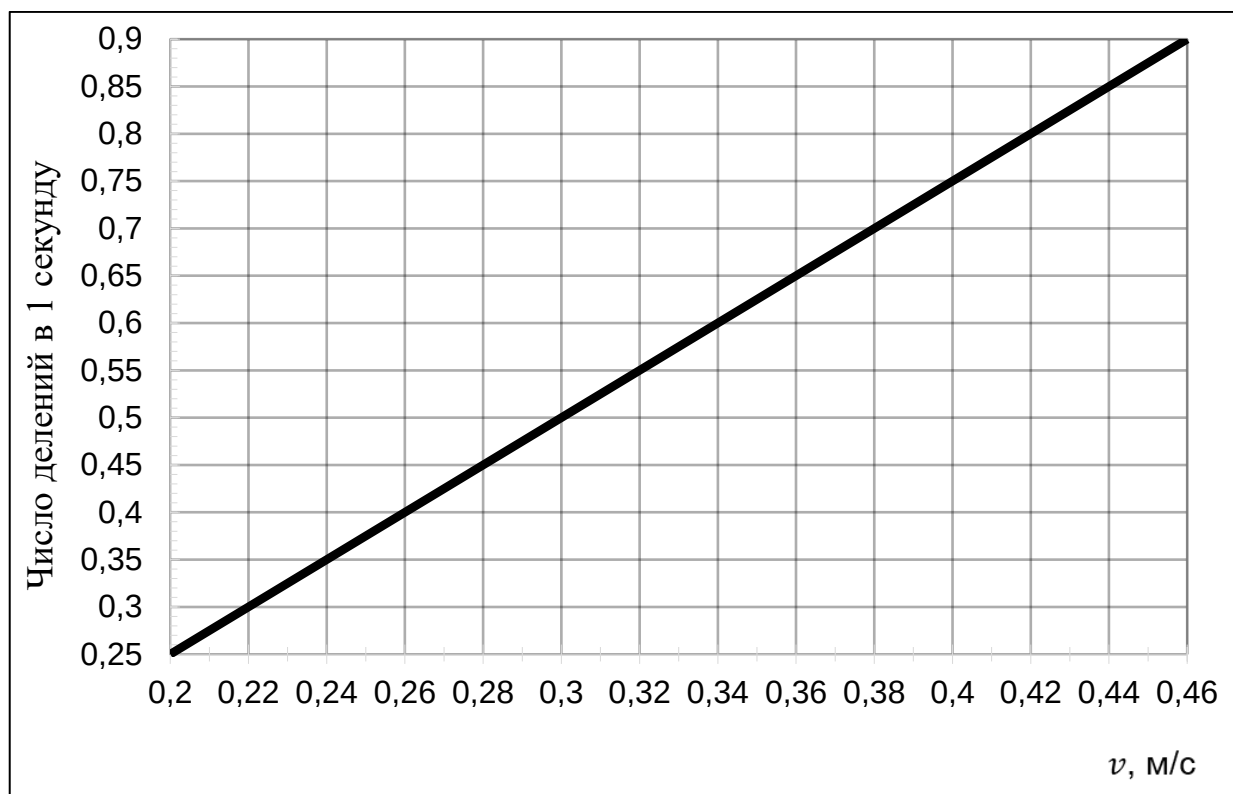
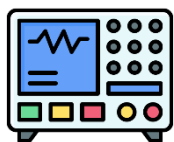


Рисунок 1.14 – График перевода показаний счетчика крыльчатого анемометра в показания скорости движения воздуха



Имитационный опыт № 4. Измерить микроклиматические показатели с помощью электронного метеометра МЭС-200А.

При запуске виртуальной лабораторной работы прибор МЭС-200А не показан на экране. Для перехода в режим работы с прибором наведите указатель мыши на соответствующую кнопку в правом нижнем углу экрана и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – Кнопки переключения режимов работы

При переключении в режим работы с прибором МЭС-200А на экране отобразится электронный блок прибора, а вместо крыльчатого анемометра АСО-3 на рабочем месте отобразится измерительный зонд метеометра (рисунок 1.16).

При необходимости можно вернуться в режим работы с анемометром АСО-3, используя соответствующую кнопку в правом нижнем углу экрана (только при выключенном устройстве МЭС-200А).

В левом нижнем углу экрана расположены две кнопки переключения типа измерительного зонда (измерительные щупы Щ1 и Щ2). По умолчанию выбран измерительный щуп Щ1, при этом щуп подключен напрямую к электронному блоку устройства. Смена измерительного щупа осуществляется только при выключенном устройстве МЭС-200А.

При выборе щупа Щ2 на рабочем месте отобразится соответствующий измерительный щуп со сферической насадкой, а также измерительный щуп Щ1, лежащий рядом на столе. При этом два измерительных щупа соединяются со специальной подставкой, которая в свою очередь соединяется с электронным блоком прибора (рисунок 1.17).



Рисунок 1.16 – Режим работы с метеометром МЭС-200А
(измерительный щуп Щ1)



Рисунок 1.17 – Режим работы с метеометром МЭС-200А
(измерительный щуп Щ2)

Включение/выключение прибора осуществляется кликом левой кнопкой мыши по кнопке «», расположенной на лицевой панели электронного блока метеометра (рисунок 1.18).

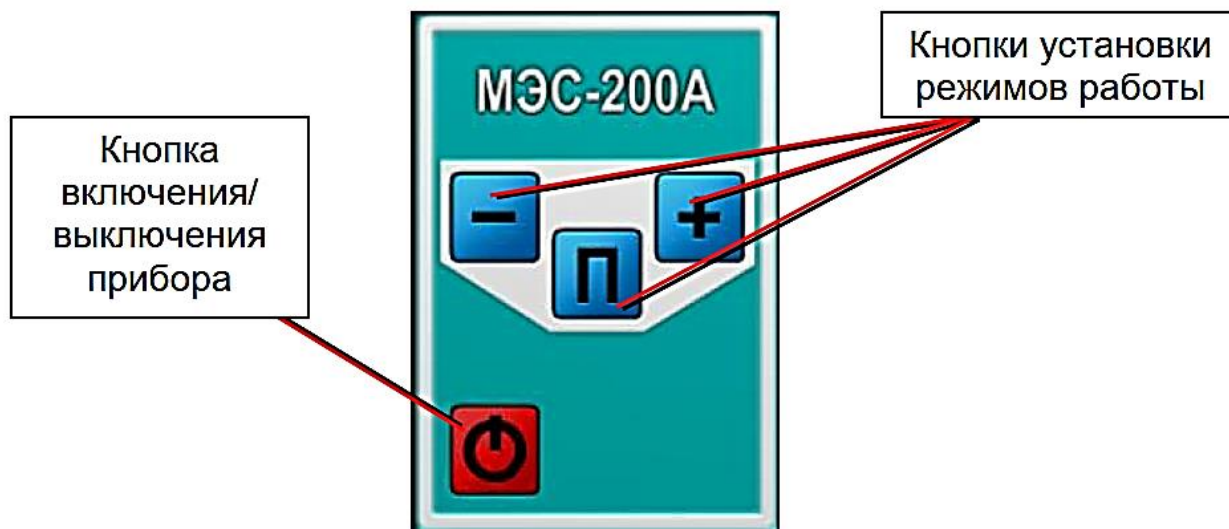
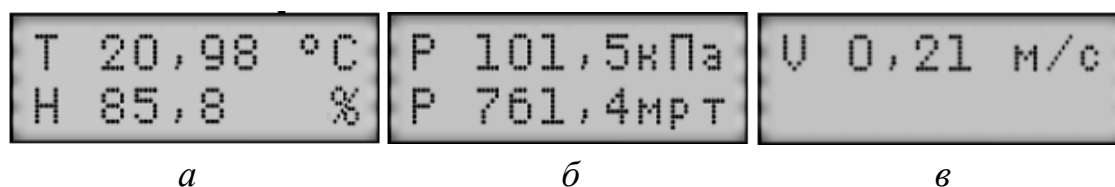


Рисунок 1.18 – Лицевая панель электронного блока метеометра МЭС-200А

В режиме работы с измерительным щупом Щ1 электронный блок метеометра регистрирует температуру воздуха T ($^{\circ}\text{C}$), относительную влажность воздуха H (%), давление P (кПа, мм рт. ст.), а также скорость движения воздуха v (м/с). Измерение скорости движения воздуха производится как с включенным, так и с выключенным вентилятором.

Переключение между режимами измерения параметров T , H и P (рисунок 1.19, а, б) осуществляется кликом левой кнопкой мыши по кнопке «П» на лицевой панели электронного блока метеометра.



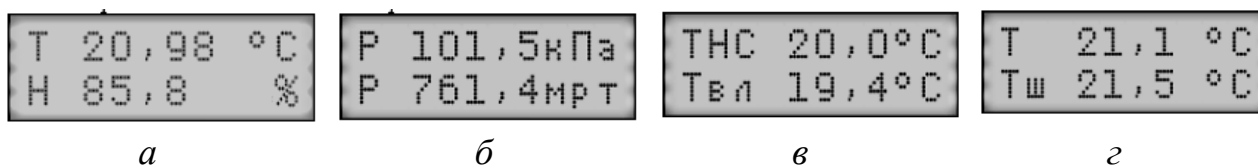
a – температура (T , $^{\circ}\text{C}$) и относительная влажность воздуха (H , %);
 $б$ – давление (P , кПа, мм рт. ст.); $в$ – скорость движения воздуха (v , м/с)

Рисунок 1.19 – Индикация измеряемых параметров на дисплее электронного блока метеометра при работе с измерительным щупом Щ1

Для отображения на дисплее электронного блока измеренной скорости движения воздуха наведите указатель мыши на кнопку «+» и кликните левой кнопкой (в реальном устройстве применяется комбинация кнопок «П» и «+»). Для возврата в режим измерения параметров T , H и P повторно кликните по кнопке «П».

Щелчками левой кнопкой мыши по кнопке «—» на лицевой панели электронного блока метеометра можно изменить разрядность округления выводимых на экран параметров (в реальном устройстве применяется комбинация кнопок «П» и «—»).

В режиме работы с измерительным щупом Щ2 электронный блок метеометра регистрирует температуру воздуха T ($^{\circ}\text{C}$), относительную влажность воздуха H (%) и давление P (кПа, мм рт. ст.) по показаниям, полученным с измерительного щупа Щ1, а также температуру внутри черного шара $T_{\text{ш}}$ ($^{\circ}\text{C}$) – по показаниям, полученным с измерительного щупа Щ2. Кроме перечисленных показателей, на дисплей электронного блока выводятся расчетные значения температуры влажного термометра $T_{\text{вл}}$ ($^{\circ}\text{C}$) и интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС-индекс) ($^{\circ}\text{C}$). Переключение между режимами измерения параметров T , H , P , ТНС, $T_{\text{вл}}$ и $T_{\text{ш}}$ (рисунок 1.20) осуществляется кликом левой кнопкой мыши по кнопке «П» на лицевой панели электронного блока метеометра.



а – температура (T , $^{\circ}\text{C}$) и относительная влажность воздуха (H , %); б – давление (P , кПа, мм рт. ст.); в – ТНС-индекс и температура влажного термометра ($T_{\text{вл}}$, $^{\circ}\text{C}$); г – температура воздуха (T , $^{\circ}\text{C}$) и температура внутри черного шара ($T_{\text{ш}}$, $^{\circ}\text{C}$)

Рисунок 1.20 – Индикация измеряемых параметров на дисплее электронного блока метеометра при работе с измерительным щупом Щ2

На рисунке 1.21 представлена циклограмма установки режимов измерения реального устройства МЭС-200А при работе с измерительным щупом Щ1.

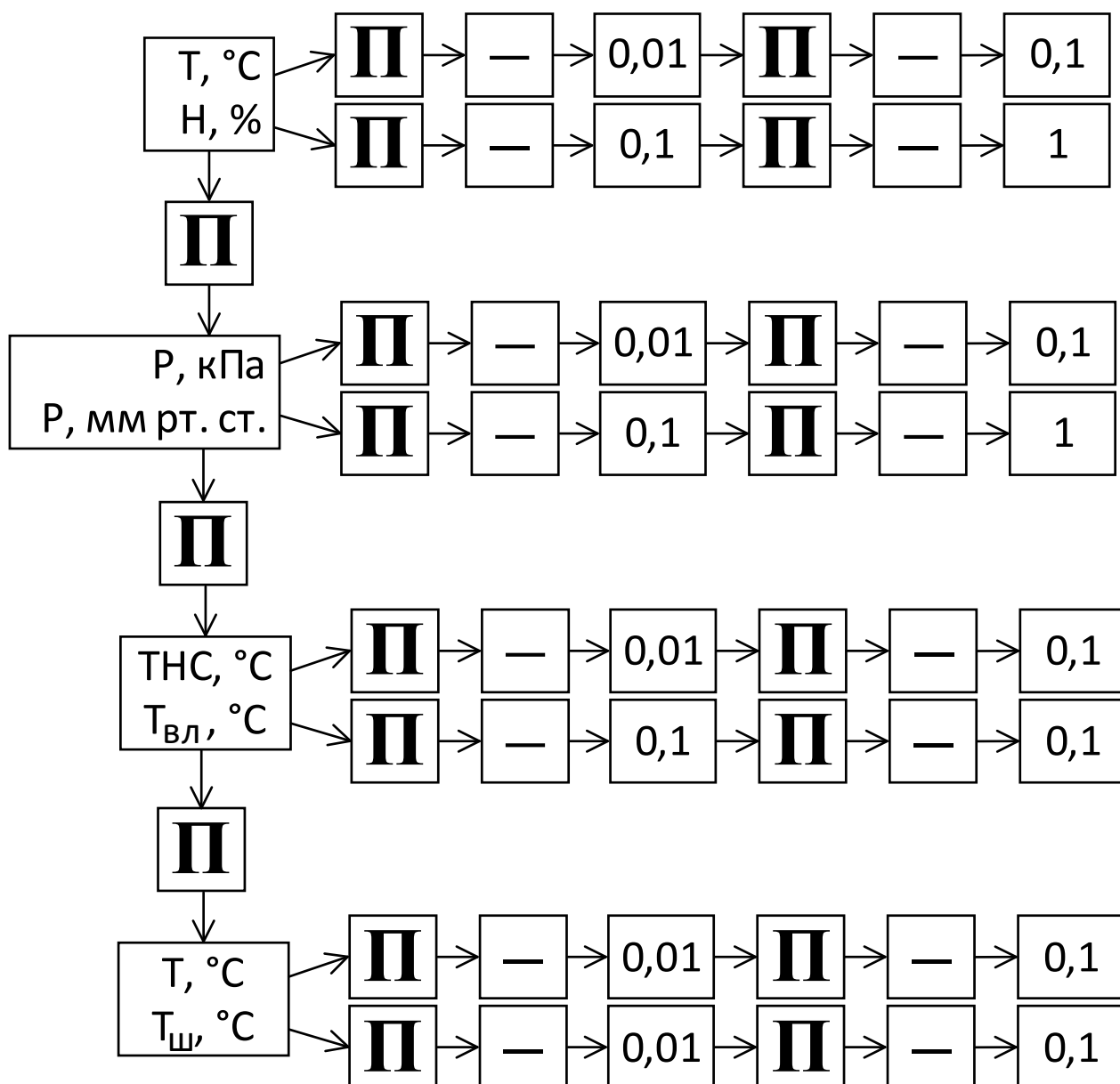


Рисунок 1.22 – Циклограмма установки режимов измерения реального устройства МЭС-200А при работе с измерительным щупом Щ2

4 В каких случаях устанавливаются оптимальные параметры микроклимата производственных и офисных помещений? В каких – допустимые параметры микроклимата производственных помещений и офисных помещений?

5 В каких случаях микроклиматические условия рассматриваются как вредные и опасные условия труда?

6 Для оценки каких параметров микроклимата производственных и офисных помещений используют индекс тепловой нагрузки среды?

7 Какие требования предъявляют к организации работы в производственных и офисных помещениях при температуре воздуха выше или ниже допустимых величин?

8 Какие требования предъявляют к организации контроля и методам измерения значений показателей микроклимата в производственных и офисных помещениях?

9 Какие контрольно-измерительные приборы используют для измерения параметров температуры, скорости движения воздуха, интенсивности теплового излучения, влажности воздуха?

10 Какие требования предъявляют к производственным помещениям и организации технологического процесса для поддержания оптимальных и/или допустимых параметров микроклимата в производственных и офисных помещениях?

Список использованных источников

1 Об утверждении санитарных норм и правил «Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях», Гигиенического норматива «Показатели микроклимата производственных и офисных помещений» : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 30 апреля 2013 г. № 33 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W21327576p>.

2 Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к организации и ведению работ в условиях нагревающего микроклимата» и внесении изменений в постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30 апреля 2013 г. № 33 : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 28 декабря 2015 г. № 136 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22340636p>.

3 Об утверждении Санитарных норм и правил «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда работающих, содержанию и эксплуатации производственных объектов» : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 19 июля 2023 г. № 114 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22340636p>.

4 Об утверждении Инструкции о порядке обеспечения работников средствами индивидуальной защиты : постановление М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь от 30 декабря 2008 № 209 // Национальный правовой

Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W20920390>.

5 Об утверждении Гигиенических нормативов «Показатели безопасности и безвредности аэроионного состава воздушной среды производственных и общественных помещений», «Микроклиматические показатели безопасности и безвредности на рабочих местах» : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 25 января 2021 г. № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22100037>.

6 Краткое руководство пользователя // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_user_manual.pdf.

7 Краткое руководство администратора // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_admin_manual.pdf.

ПРОТОКОЛ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1

«Исследование микроклиматических условий в рабочей зоне производственного помещения»

Исходные данные:

Категории работ ____/____/____

Период года _____

Состав бригады:

Группа _____

ФИО _____

ФИО _____

Индивидуальное задание:

1 Изучить принцип работы приборов: барометр-анероид, психрометров Августа и Ассмана. Определить величину атмосферного давления в помещении. Измерить температуру воздуха в помещении. Определить величину относительной влажности воздуха в помещении.

2 Изучить принцип работы кататермометра. Определить охлаждающую способность воздуха и скорость воздуха в помещении.

3 Изучить принцип работы крыльчатого анемометра АСО-3. Определить скорость воздуха в помещении.

4 Изучить принцип работы электронного метеометра МЭС-200А. Измерить величину атмосферного давления, температуру, скорость, влажность воздуха в помещении. Определить показатель тепловой нагрузки среды.

5 Выполнить гигиеническую оценку микроклимата в производственном помещении.

6 При необходимости предложить мероприятия для нормализации параметров микроклимата.



Имитационный опыт № 1. Изучить принцип работы приборов: барометр-анероид, психрометров Августа и Ассмана. Определить величину атмосферного давления в помещении. Измерить температуру воздуха в помещении. Определить величину относительной влажности воздуха в помещении.

№	Показатели	Обозначения	Измерения	
1	Атмосферное давление	P		кПа
		P		мм рт. ст.
2	Психрометр Августа	$t_{\text{сух}}$		°C
		$t_{\text{вл}}$		°C
		Относительная влажность, φ		%

№	Показатели	Обозначения	Измерения	
3	Психрометр Ассмана	$t_{\text{сух}}$		°С
		$t_{\text{вл}}$		°С
		Относительная влажность, φ		%

Вывод: _____



Имитационный опыт № 2. Изучить принцип работы кататермометра. Определить охлаждающую способность воздуха и скорость воздуха в помещении.

№	Показатели	Обозначения	Измерения	
1	Время охлаждения кататермометра от $T_1 = 40^\circ\text{C}$ до $T_2 = 33^\circ\text{C}$	t		с
2	Константа кататермометра $\Phi = F / 3$	Φ		$\frac{\text{мкал}}{\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$
3	Охлаждающая способность воздуха $H = \frac{\Phi(T_1 - T_2)}{t} = \frac{\Phi(40 - 33)}{t}$	H		$\frac{\text{мкал}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$
4	Разность между средн. темп. кататермометра и темп. окр. среды $Q = 36,5 - \frac{t_{\text{сух}}}{2}$, где $t_{\text{сух}}$ – среднее значение по результатам опыта № 1	Q		°С
5	Значение отношения H / Q	H / Q		
6	Скорость воздуха в помещении	$v_{\text{расч}}$		м/с

Вывод: _____



Имитационный опыт № 3. Изучить принцип работы крыльчатого анемометра АСО-3. Определить скорость воздуха в помещении.

№	Показатели	Измерения		
		№ 1	№ 2	№ 3
1	Начальные показания счетчика			
2	Конечные показания счетчика			
3	Разность отсчетов			
4	Длительность замера, с			

№	Показатели	Измерения		
		№ 1	№ 2	№ 3
5	Частота вращения, об/с			
6	Скорость движения воздуха при включенном вентиляторе, м/с			

Вывод: _____



Имитационный опыт № 4. Изучить принцип работы электронного метеометра МЭС-200А. Измерить величину атмосферного давления, температуру, скорость, влажность воздуха в помещении. Определить показатель тепловой нагрузки среды.

№	Показатель	Обозначения	Значение	Ед. изм.
Измерительный щуп Щ1				
1	Температура воздуха	T		°C
2	Относительная влажность воздуха	H		%
3	Атмосферное давление	P		кПа
4	Атмосферное давление	P		мм рт. ст.
5	Скорость движения воздуха с включенным вентилятором	v		м/с
6	Скорость движения воздуха с выключенным вентилятором	v		м/с
Измерительный щуп Щ2				
7	Температура воздуха	T		°C
8	Относительная влажность воздуха	H		%
9	Атмосферное давление	P		кПа
10	Атмосферное давление	P		мм рт. ст.
11	Показатель тепловой нагрузки среды	ТНС		°C
12	Температура влажного термометра	$T_{вл}$		°C
13	Температура внутри насадки – черного шара	$T_{ш}$		°C

Выводы по имитационному опыту № 4:

Период года	Категория работ	Наименование параметра микроклимата	Фактическое значение	Оптимальное значение	Допустимое значение	Выводы
Имитационный опыт № 1						
		Относительная влажность по психрометру Августа				
		Относительная влажность по психрометру Ассмана				
Имитационный опыт № 2						
		Скорость воздуха				
Имитационный опыт № 3						
		Скорость воздуха				
Имитационный опыт № 4						
		Температура воздуха				
		Относительная влажность воздуха				
		Скорость воздуха				
		ТНС-индекс				

Перечень рекомендованных основных мероприятий для нормализации параметров микроклимата в производственном помещении для полученных условий:

1 _____

2 _____

3 _____



Задание № 5. Выполнить гигиеническую оценку микроклимата производственного помещения при следующих исходных данных (данные получить у преподавателя). Обосновать выбор мероприятий по нормализации параметров микроклимата.

Период года	Категория работ	Наименование параметра микроклимата	Фактическое значение	Оптимальное значение	Допустимое значение	Выводы
		Температура воздуха				
		Относительная влажность воздуха				
		Скорость воздуха				
		ТНС-индекс				

Вывод: _____

Выводы по работе: _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

Цель: исследование освещенности на рабочем месте с помощью люксметра при различной организации искусственного освещения. Исследование влияния окраски стен на освещенность на рабочем месте. Изучение принципа нормирования.

План занятия

- 1 Изучить теорию.
- 2 Выполнить лабораторную работу.
- 3 Оформить отчет и защитить работу.

Теоретические сведения

Требования к организации производственного освещения рабочих мест в офисных и производственных помещениях. В соответствии с СН 2.04.03-2020 «Естественное и искусственное освещение» в зависимости от источника света различают естественное, искусственное и совмещенное освещение (сочетание естественного и искусственного) (рисунок 2.1).

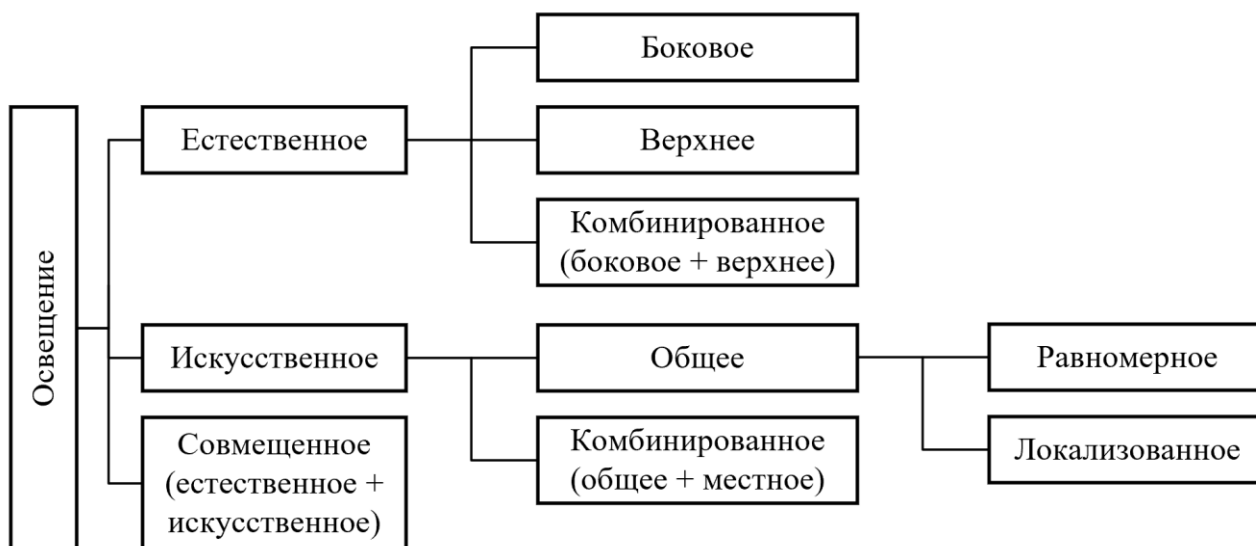


Рисунок 2.1 – Виды освещения

Естественное освещение – освещение помещений прямым или отраженным светом неба, проникающим через световые проемы в наружных

ограждающих конструкциях. Естественное освещение производственных помещений может осуществляться через световые проемы в наружных стенах (*боковое*), через фонари, световые проемы в стенах в местах перепада высот здания (*верхнее*) или обоими способами одновременно (*комбинированное естественное освещение*).

Достоинства: экономичность, благоприятное воздействие на организм человека, естественная цветопередача предметов.

Недостатки: переменно в течение суток, зависит от климатических, сезонных и географических условий.

Искусственное освещение создается электрическими источниками света (например, лампами накаливания, газоразрядными лампами).

По конструктивному исполнению искусственное освещение подразделяют на *общее* и *комбинированное* (общее + местное).

Общее освещение – освещение, при котором светильники размещены в верхней зоне помещения равномерно (*общее равномерное освещение*) или применительно к расположению оборудования (*общее локализованное освещение*). *Верхняя зона помещения* – это пространство на высоте более 2 м от пола или площадки, на которой находится рабочее место.

Общее равномерное освещение обеспечивает равномерное распределение светового потока по всему помещению без учета расположения оборудования, а общее локализованное – с учетом расположения рабочих мест путем размещения светильников ближе к рабочим поверхностям.

Комбинированное освещение состоит из общего и местного (местный светильник, например настольная лампа). Его устанавливают при работах высокой точности, а также при необходимости создания определенного или изменяемого в процессе работы направления света. Доля общего освещения в комбинированном должна быть не менее 10 %.

Местное освещение – это освещение, дополнительное к общему, создаваемое светильниками, концентрирующими световой поток непосредственно на рабочих местах и расположенными на высоте не более 2 м от пола. Местное освещение предназначено для освещения только рабочих поверхностей и не создает необходимой освещенности даже на прилегающих к ним площадях. Применение только местного освещения, как стационарного, так и переносного, в производственных помещениях не допускается.

Система общего освещения должна соответствовать следующим требованиям:

- светильники должны быть оснащены антибликовыми приспособлениями (сетками, диффузорами и т. д.);

- часть света должна быть направлена на потолок и на верхнюю часть стен;

– светильники должны быть установлены вне поля зрительной видимости работника, чтобы уменьшить ослепление и сделать освещение более однородным.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Кроме естественного и искусственного освещения, может применяться их сочетание, когда освещенности за счет естественного света недостаточно для выполнения той или иной работы. Такое освещение называется *совмещенным*. Для выполнения работы наивысшей, очень высокой и высокой точности обычно естественной освещенности недостаточно, и поэтому применяют совмещенное освещение.

Основные требования к искусственному освещению производственных помещений. На промышленных предприятиях применяют общее освещение или комбинированное. Предпосылками для организации общего освещения являются следующие условия:

а) возможность выполнения работ одного зрительного разряда по всему помещению;

б) высокая плотность рабочих мест;

в) невысокая точность работ.

Предпосылками для устройства комбинированного освещения являются:

а) высокая точность работ;

б) необходимость определенного направления света;

в) невысокая плотность распределения рабочих мест в помещении.

Требования, которым должно отвечать освещение на рабочем месте:

– освещенность должна соответствовать характеру зрительной работы;

– яркость света должна быть достаточной;

– равномерное распределение светового потока по рабочей поверхности;

– источник света не должен слепить глаза;

– освещение должно быть рассеянным и не создавать глубоких теней;

– величина освещения постоянна во времени (K_n не превышает нормативных значений);

– оптимальный спектральный состав;

– все элементы осветительных установок должны быть долговечны, взрыво-, пожаро-, электробезопасны.

При создании системы общего производственного освещения руководствуются СН 2.04.03-2020 «Естественное и искусственное освещение». Нормы освещенности построены на основе классификации работ по

количественным признакам. Производственное освещение нормируется (рисунок 2.2) в зависимости:

- от характеристики зрительной работы;
- характеристики фона;
- контраста объекта с фоном;
- вида освещения.

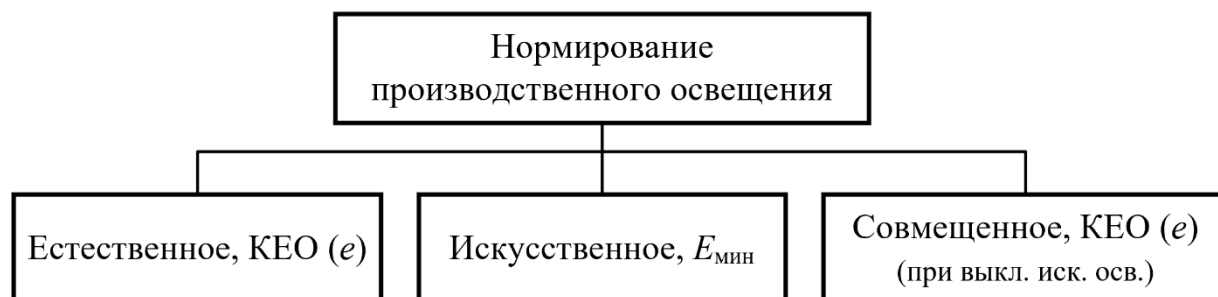


Рисунок 2.2 – Нормирование производственного освещения

Точность зрительной работы характеризуется наименьшим эквивалентным размером объекта различения. *Объект различения* – это элемент рассматриваемого объекта минимального размера, который нужно узнавать и различать. По степени точности все зрительные работы делятся на восемь разрядов, кроме этого, выделяют подразряды зрительной работы в зависимости от характеристики фона и контраста между объектом и фоном. Деление разрядов зрительных работ на подразряды дает возможность более дифференцированно выбрать освещенность для каждого вида зрительной работы (таблица 2.1).

Гигиеническая оценка производственного освещения заключается в измерении или расчете фактической освещенности на рабочей поверхности и сравнении ее с нормативным значением, которое указано в СН 2.04.03-2020, в зависимости от вида работ. Рабочей считается поверхность, на которой производится зрительная работа. На рабочей поверхности измеряются, оцениваются и нормируются показатели освещения.

Таблица 2.1 – Нормативные значения показателей естественного, искусственного и совмещенного освещения
(выборка из СН 2.04.03-2020)

Продолжение таблицы 2.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение				Естественное освещение				Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк		при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения	Сочетание нормируемых значений		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении
						всего	в том числе от общего				показателя ослепленности P	коэффициента пульсации K_p , %			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Высокой точности	Св. 0,30 до 0,50 включ.	III	a	Малый	Темный	2000 1500	200	500 400	40 20	15	-	-	3,0	1,2	
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750		300 200	40 20						
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750 750 600		300 300 200	40 40 20						
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	400		200	40						
			a	Малый	Темный	750		300							
Средней точности	Св. 0,5 до 1,0 включ.	IV	б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20	4	1,5	2,4	0,9	
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400									
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний	-									

Продолжение таблицы 2.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение				Естественное освещение				Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых значений	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
						при системе комбинированного освещения	в том числе от общего	при системе общего освещения							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	показателя ослепленности P	коэффициента пульсации K_p , %	12	13	14	15	
Малой точности	Св. 1 до 5 включ.	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6	
			б	Малый Средний	Средний Темный										
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный		–	200							
			г	Средний Большой Большой	Светлый Светлый Средний										
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI	–	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6	

Примечания (выборка из СН 2.04.03-2020):

1 Для зрительной работы Ia – IIIв подразряда допускается принимать один из наборов нормативных показателей, приведенных для данного подразряда в графах 7–11.

2 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 расстоянии от объекта различения до глаз работающего более 0,5 м разряд зрительных работ следует устанавливать с учетом углового размера объекта различения, определяемого отношением минимального размера объекта различения d , м, к расстоянию от этого объекта до глаз работающего l , м, по таблице 2.2. Для протяженных объектов различения эквивалентный размер выбирают согласно приложению Д СН 2.04.03-2020.

Таблица 2.2 – Определение разряда зрительных работ при расстоянии от объекта различения до глаз рабочего более 0,5 м

Пределы отношения d / l	Разряд зрительной работы
Менее $0,3 \cdot 10^{-3}$	I
От $0,3 \cdot 10^{-3}$ до $0,6 \cdot 10^{-3}$ включительно	II
Свыше $0,6 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^{-3}$ включительно	III
Свыше $1,0 \cdot 10^{-3}$ до $2,0 \cdot 10^{-3}$ включительно	IV
Свыше $2,0 \cdot 10^{-3}$ до $10,0 \cdot 10^{-3}$ включительно	V
Свыше $10,0 \cdot 10^{-3}$	VI

3 Освещенность при использовании ламп накаливания следует понижать по шкале освещенности: 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:

– на одну ступень – при системе комбинированного освещения, если нормативная освещенность составляет 750 лк и более;

– на одну ступень – при системе общего освещения для зрительной работы I–V, VII разряда;

– на две ступени – при системе общего освещения для зрительной работы VI и VIII разряда.

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

5 Систему общего освещения для зрительной работы I–III, IVa, IVб, IVв, Va разряда допускается предусматривать только при технической невозможности или экономической нецелесообразности применения системы комбинированного освещения, что конкретизируется в отраслевых нормах освещения.

Нормирование искусственного освещения. Нормирование осуществляется непосредственно по минимальной освещенности рабочей поверхности (E , лк), в соответствии с СН 2.04.03-2020.

Нормирование естественного освещения. Непостоянство естественного света даже в течение короткого промежутка времени вызвало необходимость нормировать естественное освещение с помощью относительного показателя – коэффициента естественной освещенности (КЕО, e).

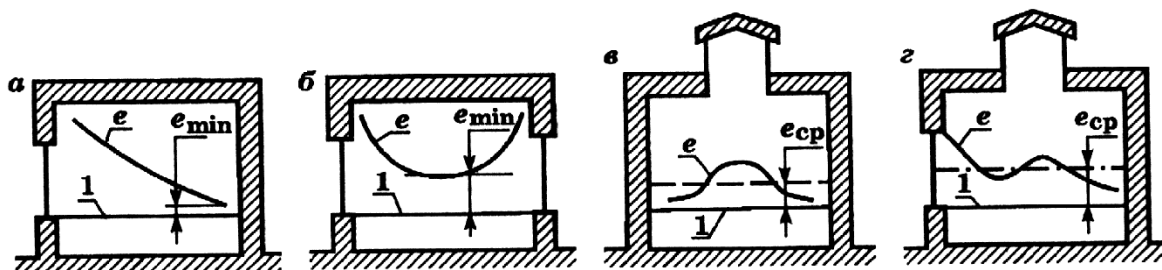
$КЕО$ – это отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения, к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода, выраженное в процентах:

$$КЕО(e) = (E_{\text{вн}} / E_{\text{нар}}) \cdot 100 \%, \quad (2.1)$$

где $E_{\text{вн}}$ – освещенность какой-либо точки внутри помещения, лк;

$E_{\text{нар}}$ – освещенность точки вне помещения, лк.

В небольших помещениях при одностороннем боковом естественном освещении (рисунок 2.3, *а*) нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов, на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности. При двустороннем боковом освещении (рисунок 2.3, *б*) – в точке посередине помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности. При верхнем или комбинированном естественном освещении (рисунок 2.3, *в, г*) нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности. Первая и последняя точки принимаются на расстоянии 1 м от поверхности стен (перегородок) или осей колонн.



а – одностороннее боковое освещение; *б* – двустороннее боковое освещение; *в* – верхнее освещение; *г* – комбинированное освещение;
1 – уровень рабочей плоскости

Рисунок 2.3 – Схема распределения КЕО по разрезу помещения

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

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

Нормирование совмещенного освещения. Совмещенное освещение, так же как и естественное, нормируют с помощью КЕО (коэффициента естественной освещенности) в зависимости от выполняемого разряда зрительной работы и конструктивного исполнения искусственного освещения (см. таблицу 2.1). Совмещенное освещение оценивается при отключенных источниках искусственного света.

Основной задачей светотехнических расчетов при искусственном освещении является определение потребной мощности электрической осветительной установки. Наиболее известными методами, применяемыми при расчете искусственного освещения, являются:

- метод коэффициента использования светового потока;
- точечный метод;
- метод удельной мощности (метод Ватт).

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии затемняющего оборудования (рисунок 2.4). Подходит для приборов любого типа.

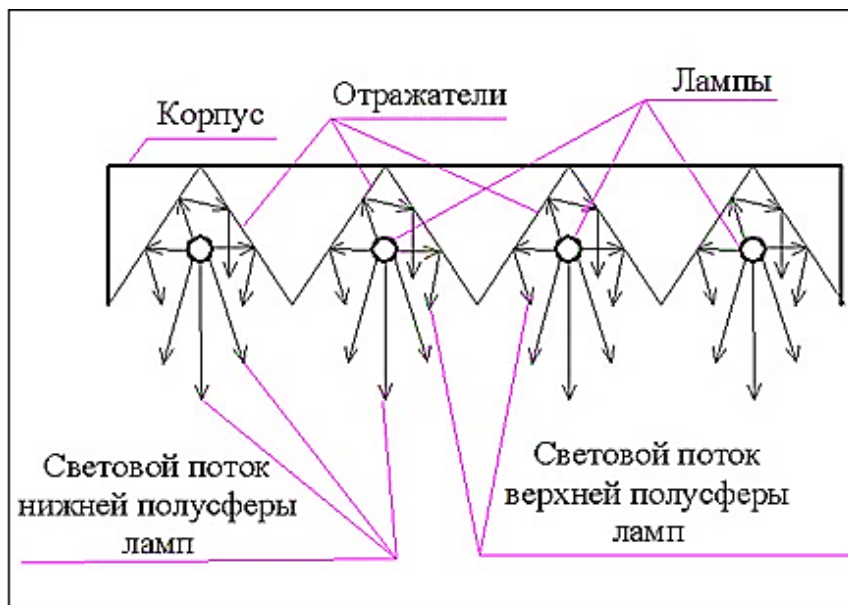


Рисунок 2.4 – Распределение светового потока в системе общего освещения

Осветительная система имеет большое значение в любом рабочем помещении, будь то заводской цех или офис. Она создает благоприятную

атмосферу, способствующую повышению производительности труда. Основные задачи, стоящие перед производственным освещением:

- создание условий для безопасного и производительного труда;
- энергоэффективность источников света;
- полное соответствие помещения установленным нормам производственного освещения;
- прочность и износостойкость оборудования.

При разработке системы производственного освещения учитываются многочисленные требования, предъявляемые к уровню яркости и цветовой температуре света, равномерности его распространения, конструкции и материалам светильников. Ассортимент современной осветительной техники позволяет выбрать продукцию, подходящую для производственных помещений.

При выборе осветительных приборов большое значение имеют условия эксплуатации: взрывоопасность, уровень загрязнения воздуха, влажность, температура. Большинство современных светильников для производственного освещения оснащаются прочным корпусом из алюминия или пластика. Приборы имеют простой дизайн и не требуют сложного ухода или обслуживания. Модельный ряд включает изделия, подходящие для всех промышленных отраслей. Одинаковые на вид модели могут отличаться степенью пылезащиты или материалом рассеивателя.

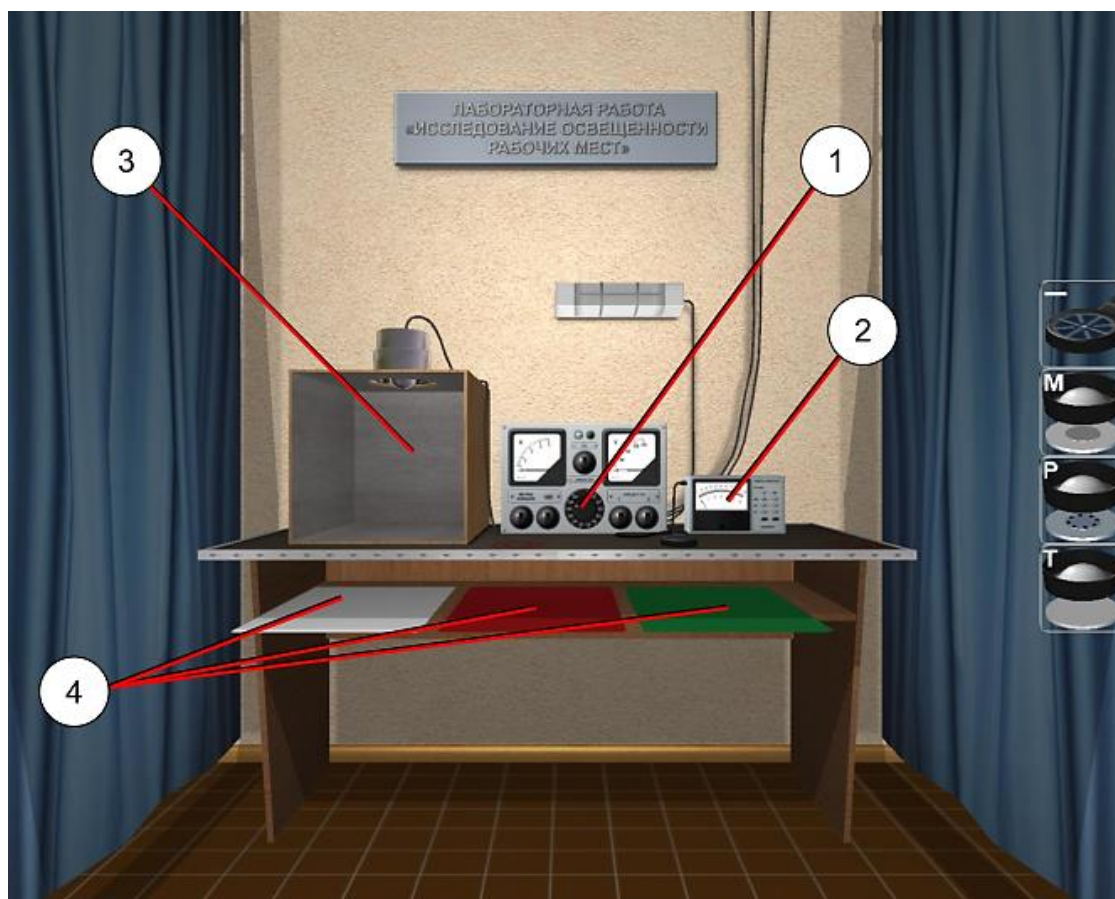
Перед выбором решений следует провести тщательный анализ:

- особенностей производственных процессов (насколько интенсивного света они требуют);
- площади и высоты помещения;
- расположения оборудования;
- качества естественного света.

При выборе осветительных приборов для общего производственного освещения целесообразно использовать современные типы ламп: люминесцентные, газоразрядные (высокого давления), а также светодиоды, которые монтируются в светильники линейного и точечного типа. Выбор источников освещения производится с учетом условий эксплуатации.

Ход выполнения имитационных опытов

На рисунке 2.5 представлено виртуальное пространство лабораторной работы.



1 – лабораторный автотрансформатор; 2 – люксметр;
3 – камера для исследования влияния окраски стен на показатель освещенности; 4 – цветные щиты-стенки

Рисунок 2.5 – Виртуальное пространство лабораторной работы

Проведение лабораторной работы включает последовательное выполнение ряда имитационных опытов. Выполнение каждого имитационного опыта заключается в совершении ряда последовательных действий согласно стандартной методике эксперимента.

В виртуальной лабораторной работе имитируется специально оборудованная кабина, огражденная плотным темным занавесом.

В кабине предусмотрены устройства, позволяющие включать системы общего и комбинированного освещения с люминесцентными лампами и лампами накаливания (рисунок 2.6), изменять с помощью лабораторного автотрансформатора напряжение в электрической сети, а с помощью разноцветных щитов моделировать окраску стен помещения.



Рисунок 2.6 – Имитируемая система освещения рабочего места

Вначале работы необходимо включить лабораторный стенд в сеть. Для этого приблизьте камеру к панели лабораторного стенда, наведите указатель мыши на тумблер «Сеть» (тумблер отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши по нему (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Панель лабораторного стенда

После включения лабораторного стенда в сеть загорится лампочка питания, расположенная рядом с тумблером «Сеть». На амперметр выводится

сила тока в зависимости от подключенной нагрузки (мощности осветительных приборов задаются преподавателем с помощью настроечной программы). Вольтметр отражает текущее напряжение сети. Напряжение можно менять с помощью соответствующего регулятора. Для изменения напряжения сети наведите указатель мыши на регулятор напряжения. Нажатие (и удержание) левой кнопки мыши приведет к вращению регулятора по часовой стрелке, а нажатие (и удержание) правой кнопки мыши – к вращению против часовой стрелки (рисунок 2.8).

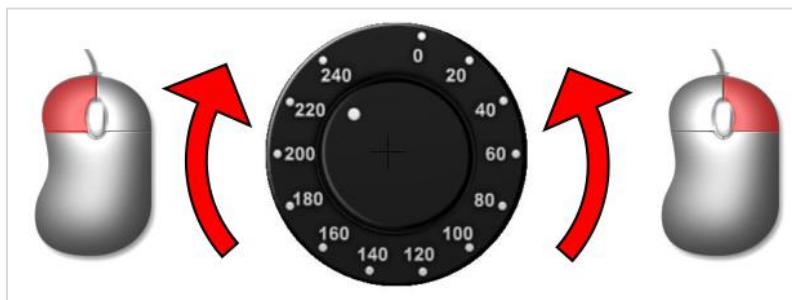


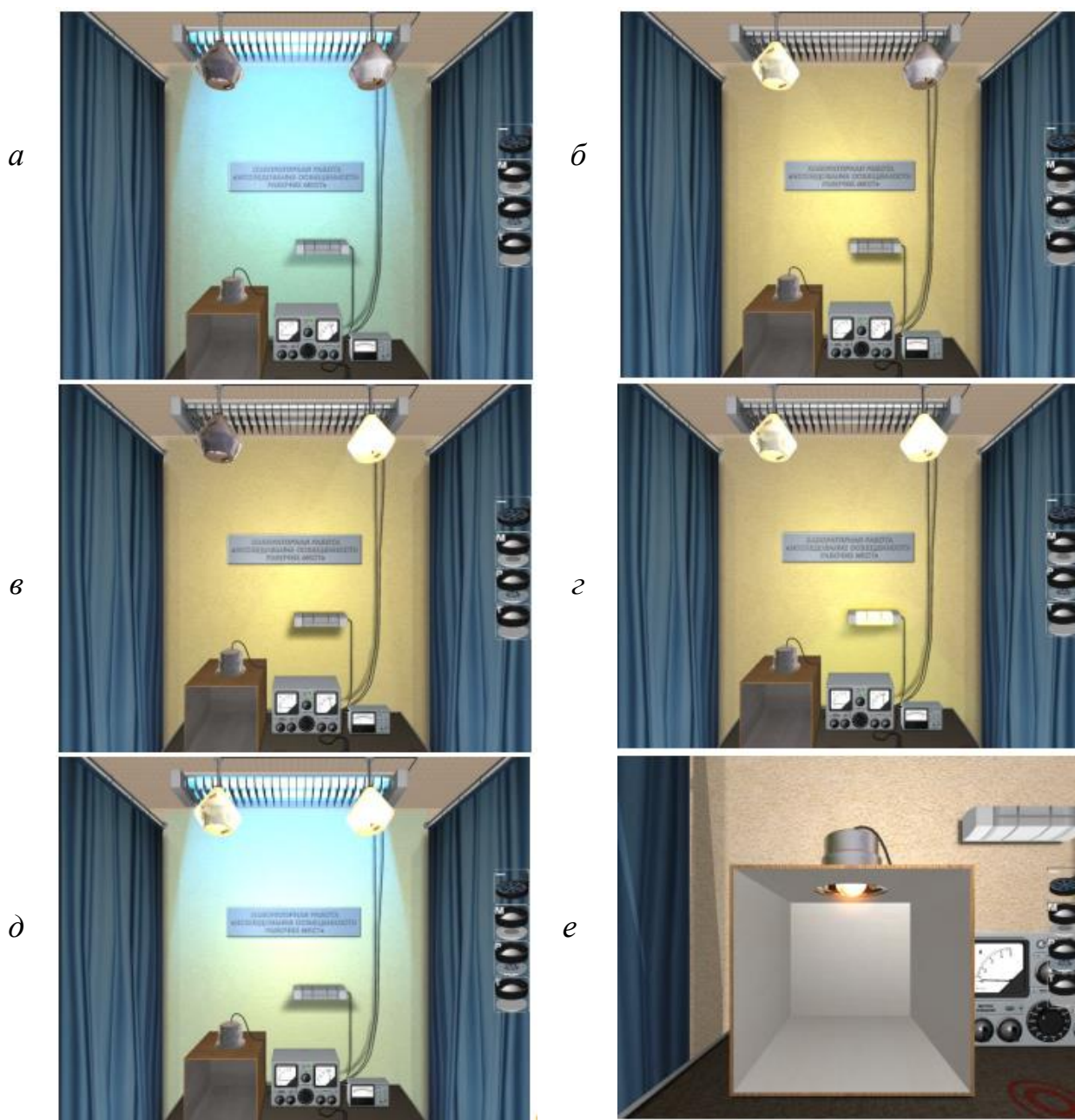
Рисунок 2.8 – Изменение положения регулятора напряжения сети с помощью мыши

Чтобы включить/выключить нужный источник освещения, наведите указатель мыши на соответствующий выключатель на панели стенда (выключатель отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Изменение положения выключателей источников освещения

Виртуальный лабораторный стенд позволяет включать или выключать осветительные приборы в любой последовательности (рисунок 2.10), однако при проведении эксперимента необходимо строго соблюдать методику работы и последовательность включения светильников в сеть.



а – светильник «ОДО»; *б–г* – светильники «Люцетта» и местное освещение; *д* – светильник «ОДО» и светильники «Люцетта»; *е* – светильник в камере для исследования влияния окраски стен на освещенность

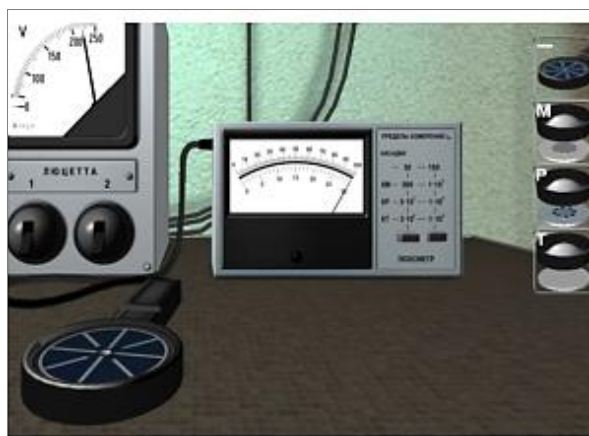
Рисунок 2.10 – Различные модели режимов освещения

Измерение освещенности производится специальным прибором – люксметром, включающим в себя измеритель (рисунок 2.11), на передней панели которого находятся: шкала милливольтметра, градуированная в единицах освещенности (люксах), и отдельно вынесенный селеновый фотоэлемент с

насадками (приемника лучистой энергии) (рисунок 2.12). Фотоэлемент находится в пластмассовом корпусе и присоединяется к измерителю шнуром, обеспечивающим правильную полярность соединения. Светочувствительная поверхность фотоэлемента равна 30 см².



Рисунок 2.11 – Имитационная модель измерителя люксметра



а



б

Рисунок 2.12 – Имитационная модель селенового фотоэлемента: без насадок-фильтров (*а*); с установленными насадками «К» и «М» (*б*)

В данной работе имитируется аналоговый измеритель с двумя шкалами, градуированными в люксах (лк), с возможностью переключения пределов измерения в зависимости от используемой насадки-фильтра на фотоэлементе.

Для равномерного освещения поверхности и защиты хрупкого слоя фотоэлемента применяется насадка, состоящая из белой светорассеивающей полусферы и непрозрачного кольца сложного профиля. Насадка маркирована символом «К». Для ослабления лучистого потока применяются три плоских вставки с маркировками «М», «Р» и «Т» и коэффициентами ослабления 10, 100 и 1000 соответственно. Коэффициент ослабления насадки «К» равен 1. Одновременное использование насадки и одной из вставок позволяет расширить диапазон измерений люксметра в 10, 100 либо 1000 раз.

Люксметр имеет две шкалы: 0–100 и 0–30 (см. рисунок 2.11). На каждой шкале точками отмечено начало диапазона измерений: на шкале 0–100 точка находится над отметкой 17, на шкале 0–30 – над отметкой 5. *При нажатой правой кнопке следует пользоваться шкалой 0–100. При нажатой левой – шкалой 0–30. Показания приборов в делениях по соответствующей шкале умножают на коэффициент ослабления 10, 100 или 1000 в зависимости от применявшейся вставки.*

Для того чтобы установить требуемую насадку-фильтр, наведите указатель мыши на одну из кнопок в правой части экрана (см. рисунок 2.12) и кликните левой кнопкой мыши. Для переключения пределов измерений на приборе (шкалы 0–100 и 0–30 лк) наведите указатель мыши на соответствующую кнопку (кнопка отобразится желтым цветом) на лицевой панели измерителя и кликните левой кнопкой мыши.

На примере рисунка 2.13 разберем снятие показаний с прибора. На передней панели прибора нажата левая кнопка, значит, снимаем показания по нижней шкале 0–30. На рисунке 2.13 стрелка показывает 22 лк. Так как была использована насадка-фильтр с маркировкой «М», то $22 \cdot 10 = 220$ лк.

При измерении освещенности от потолочных и настенных осветительных приборов выносной фотоэлемент устанавливается в три равноудаленные друг от друга точки на поверхности лабораторного стола. Точки обозначены красными окружностями (рисунок 2.14). Для установки фотоэлемента наведите указатель мыши на требуемую позицию (окружность отобразится ярко-красным цветом) и кликните левой кнопкой мыши.

При исследовании влияния окраски стен на величину освещенности измерения производятся внутри специальной камеры. Прежде чем установить фотоэлемент в позицию замера, необходимо выбрать и установить цветные щиты-стенки в камеру. При запуске виртуальной лабораторной работы цветные щиты-стенки расположены в полости лабораторного стола (рисунок 2.15).



Рисунок 2.13 – Пример снятия показаний



Рисунок 2.14 – Точки замеров на поверхности стола

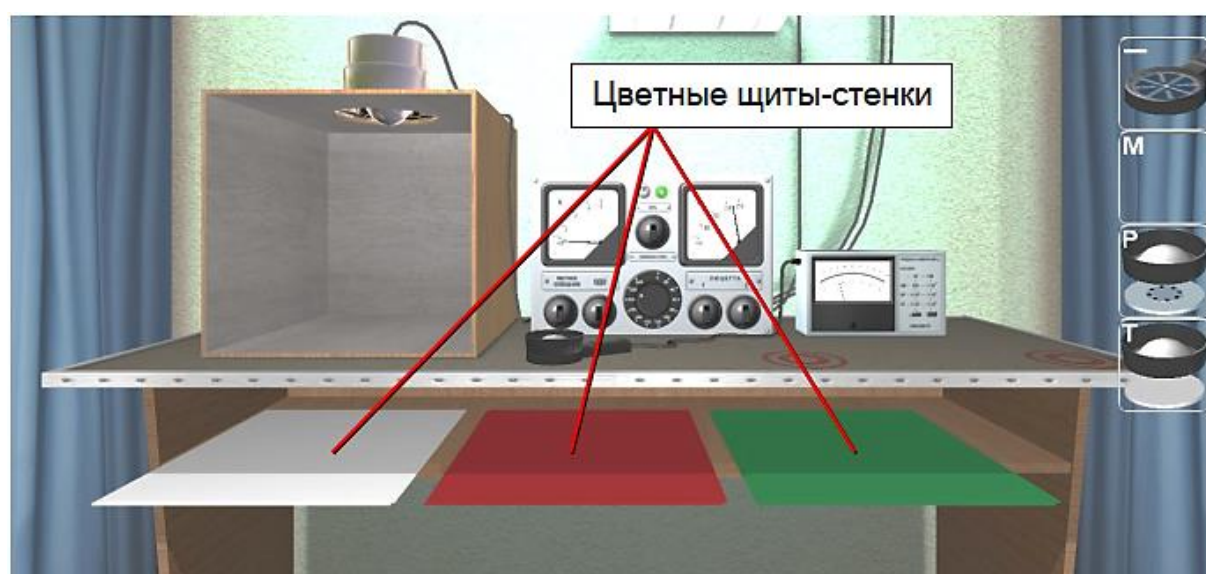


Рисунок 2.15 – Исходное расположение цветных щитов-стенок

Для установки одного из трех типов щитов-стенок в камеру наведите указатель мыши на выбранный объект (щит отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши. При этом два щита-стенки выбранного цвета автоматически установятся в испытательную камеру (рисунок 2.16, *а*).

Для возврата установленных щитов-стенок в исходную позицию наведите указатель мыши на них и кликните левой кнопкой мыши, при этом стенки автоматически извлекнутся из камеры с последующим возвратом в исходную позицию.

В режиме работы с испытательной камерой (при условии, что в камеру установлены щиты-стенки) выносной фотоэлемент можно установить в одну из девяти точек для замера освещенности (рисунок 2.16, *б*).

После выполнения каждого опыта измеренные данные заносятся в протокол отчета. По каждому опыту дается обоснованный вывод.



а

б

а – установленные цветные щиты-стенки; *б* – точки замеров

Рисунок 2.16 – Испытательная камера для исследования влияния окраски стен на величину освещенности

Для выхода из виртуальной лабораторной работы нажмите клавишу «ESC».

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Протокол отчета.

Контрольные вопросы

- 1 Какие виды производственного освещения различают в зависимости от источника света? Опишите их.
- 2 Каким требованиям должна соответствовать система общего освещения?
- 3 Перечислите виды искусственного освещения по функциональному назначению.
- 4 Назовите предпосылки для организации общего освещения.
- 5 Назовите предпосылки для организации комбинированного освещения.
- 6 В зависимости от каких параметров нормируется производственное освещение?
- 7 Каким параметром нормируется естественное освещение?
- 8 Каким параметром нормируется искусственное освещение?
- 9 Каким параметром нормируется совмещенное освещение?
- 10 Перечислите основные методы, используемые для расчета искусственного освещения.

Список использованных источников

- 1 СН 2.04.03-2020 «Естественное и искусственное освещение» : утв. постановлением М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь от 30 октября 2020 г. № 70 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22136256p>.
- 2 Краткое руководство пользователя // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_user_manual.pdf.
- 3 Краткое руководство администратора // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_admin_manual.pdf.

ПРОТОКОЛ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2

«Исследование освещенности на рабочем месте при искусственном освещении»

Исходные данные:

Разряды зрительных
работ ____/____/____

Состав бригады:

Группа _____

ФИО _____

ФИО _____

Индивидуальное задание:

1 Выполнить гигиеническую оценку общего равномерного искусственного освещения в производственном помещении.

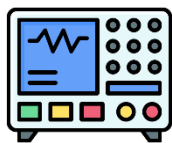
2 Выполнить гигиеническую оценку общего локализованного искусственного освещения в производственном помещении.

3 Выполнить гигиеническую оценку комбинированного искусственного освещения в производственном помещении (в системе общего освещения – светильник «Люцетта»).

4 Выполнить гигиеническую оценку комбинированного искусственного освещения в производственном помещении (в системе общего освещения – светильник «ОДО»).

5 Оценить влияние окраски стен на величину освещенности в производственном помещении.

6 Сделать выводы.



Имитационный опыт № 1. Оценить организацию общего равномерного искусственного освещения в производственном помещении (светильник «ОДО» с люминесцентными лампами) для трех различных вариантов зрительных работ.

Напряжение сети _____ В (по выбору студента).

Разряд зрительных работ	Замер на рабочей поверхности	Фактическое значение E (лк), в контрольной точке лаборатории	Нормативное значение E_n для зрительных работ (см. таблицу 2.1)	Выводы (результат оценки, соответствие норме)
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			

Разряд зрительных работ	Замер на рабочей поверхности	Фактическое значение E (лк), в контрольной точке лаборатории	Нормативное значение E_n для зрительных работ (см. таблицу 2.1)	Выводы (результат оценки, соответствие норме)
	1			
	2			
	3			



Имитационный опыт № 2. Оценить организацию общего локализованного искусственного освещения (светильник «Люцетта») в производственном помещении для трех различных вариантов зрительных работ.

Напряжение сети _____ В (по выбору студента).

Разряд зрительных работ	Замер на рабочей поверхности	Фактическое значение E (лк), в контрольной точке лаборатории	Нормативное значение E_n для зрительных работ (см. таблицу 2.1)	Выводы (результат оценки, соответствие норме)
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			



Имитационный опыт № 3. Оценить организацию комбинированного искусственного освещения в производственном помещении для трех различных вариантов зрительных работ.

Светильник «Люцетта» – в системе общего освещения.

Напряжение сети _____ В (по выбору студента).

Разряд зрительных работ	Замер на рабочей поверхности	Фактическое значение E (лк), в контрольной точке лаборатории	Нормативное значение E_n для зрительных работ (см. таблицу 2.1)	Выводы (результат оценки, соответствие норме)
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			

Разряд зрительных работ	Замер на рабочей поверхности	Фактическое значение E (лк), в контрольной точке лаборатории	Нормативное значение E_n для зрительных работ (см. таблицу 2.1)	Выводы (результат оценки, соответствие норме)
	1			
	2			
	3			



Имитационный опыт № 4. Оценить организацию комбинированного искусственного освещения в производственном помещении для трех различных вариантов зрительных работ. Светильник «ОДО» – в системе общего освещения.
Напряжение сети _____ В (по выбору студента).

Разряд зрительных работ	Замер на рабочей поверхности	Фактическое значение E (лк), в контрольной точке лаборатории	Нормативное значение E_n для зрительных работ (см. таблицу 2.1)	Выводы (результат оценки, соответствие норме)
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			



Имитационный опыт № 5. Оценить влияние окраски стен на величину освещенности в производственном помещении.
Напряжение сети _____ В (по выбору студента).

№ п/п	Точка замера	Белый щиток, E , лк	Красный щиток, E , лк	Зеленый щиток, E , лк
1	1 – левая стена			
2	2 – левая стена			
3	3 – рабочая поверхность			
4	4 – рабочая поверхность			
5	5 – рабочая поверхность			
6	6 – рабочая поверхность			
7	7 – рабочая поверхность			
8	8 – правая стена			
9	9 – правая стена			

10	Среднее значение на рабочей поверхности			
11	Среднее значение на поверхности стен			
12	Выводы: _____ _____ _____			

Выводы по работе: _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Цель: исследование аэродинамических параметров общеобменной вентиляционной системы с использованием аналогового микроманометра и измерительной пневмометрической трубки (трубки Пито). Расчет скорости в воздуховоде.

План занятия

- 1 Изучить теорию.
- 2 Выполнить лабораторную работу.
- 3 Оформить отчет и защитить работу.

Теоретические сведения

Требования к организации общеобменной вентиляционной системы на рабочих местах в офисных и производственных помещениях. Согласно строительным нормам СНБ 4.02.01-03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» применяют следующие термины с соответствующими определениями.

Вентиляция – обмен воздуха в помещениях для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых параметров микроклимата и чистоты воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне.

Аварийная вентиляция – регулируемый (управляемый) обмен воздуха в помещении, обеспечивающий защиту обслуживаемого помещения от увеличения до опасных значений концентраций горючих газов, паров и пыли при их внезапном поступлении.

Аспирация – вид вентиляции, предназначенной для удаления мелких сухих частиц из-под укрытий транспортно-технологического оборудования и рабочей зоны, с использованием метода всасывания их потоком воздуха в воздуховод, по которому частицы с потоком воздуха попадают в фильтр или отстойник.

Противодымная вентиляция – регулируемый (управляемый) газообмен внутреннего объема здания при возникновении пожара в одном из его помещений, предотвращающий поражающее воздействие на людей и/или материальные ценности распространяющихся продуктов горения, обуславливающих повышенное содержание токсичных компонентов, увеличение температуры и изменение оптической плотности воздушной среды.

Воздуховод – замкнутый по периметру канал, предназначенный для перемещения воздуха или газозвдушной смеси под действием разности давлений на концах канала. По форме поперечного сечения воздуховод может быть прямоугольным, круглым или плоско-овальным.

Вентиляционный выброс – упорядоченный поток воздуха, удаляемого системой вентиляции с естественным или искусственным побуждением из помещений в атмосферу.

Верхняя зона помещения – зона помещения, расположенная выше обслуживаемой или рабочей зоны.

Воздушный затвор – вертикальный участок воздуховода, изменяющий направление движения дыма (продуктов горения) на 180° и препятствующий при пожаре прониканию дыма из нижерасположенных этажей в вышерасположенные.

Избытки явной теплоты – превышение для данных эксплуатационных условий и микроклимата помещений количества явной теплоты, поступающей в помещение (здание, сооружение), над количеством явной теплоты, выводимой или уходящей из помещения (здания, сооружения).

Кондиционирование воздуха – создание в закрытых помещениях и поддержание с помощью средств автоматического управления искусственного микроклимата (по перечню всех или отдельных параметров воздуха, устанавливаемых нормами или соглашениями) с целью обеспечения оптимальных параметров микроклимата, наиболее благоприятных для самочувствия людей, ведения технологического процесса, обеспечения сохранности культурных и других ценностей.

Избыточное давление воздуха является основным фактором, от которого зависит работа вентиляционных установок. Давление, отсчитываемое от полного вакуума, называют *абсолютным*.

В вентиляционной технике чаще всего пользуются *избыточным давлением*. Под ним понимают разность между давлением в трубке и атмосферным давлением. В вентиляционной технике давление обозначают: P – абсолютное давление; $\pm H$ – избыточное давление, т. е. разность между абсолютным давлением P в измеряемой точке и атмосферным давлением P_a .

В помещении

$$\pm H = P - P_a. \quad (3.1)$$

При $P > P_a$ избыточное давление H положительно (+), при $P < P_a$ – отрицательно (–). Во всасывающем воздуховоде давление в трубке меньше

атмосферного и избыточное давление будет отрицательным. В нагнетающем воздуховоде давление больше атмосферного и избыточное давление положительно (воздух нагнетается в атмосферу из трубы).

Внутри вентиляционных воздухопроводов при движении воздуха различают три вида давлений: статическое $P_{ст}$, динамическое P_d и общее P_o .

Статическое давление $P_{ст}$ выражает внутреннюю потенциальную энергию воздуха и действует по всем направлениям по закону Паскаля.

Динамическое давление P_d выражает кинетическую энергию 1 м³ воздуха и действует только в направлении движения воздуха:

$$P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2}. \quad (3.2)$$

Общее давление P_o выражает полную энергию 1 м³ воздуха и всегда равно сумме статического $P_{ст}$ и динамического P_d давлений:

$$P_o = P_{ст} + P_d. \quad (3.3)$$

Избыточные давления в воздуховоде на основании формулы (3.1) выражают следующим образом:

$$\pm H_{ст} = P_{ст} - P_a; \quad (3.4)$$

$$\pm H_d = P_d - P_{d,a} = P_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \rightarrow 0; \quad (3.5)$$

$$\pm H_o = P_o - P_a. \quad (3.6)$$

Динамическое давление в атмосфере помещения принимают равным нулю: $P_{d,a} = 0$. Зависимость между избыточными давлениями выражается следующей формулой:

$$\pm H_o = \pm H_{ст} + (\pm H_d). \quad (3.7)$$

При испытаниях и расчетах вентиляционных установок важное значение имеют график распределения давлений в вентиляционных воздуховодах и выводы из него.

В вентиляционных установках используют заслонки-диафрагмы для регулировки воздушного потока в круглых каналах (рисунок 3.1), особенно во время пусконаладки системы. Они позволяют линейно повышать перепад давления, устанавливая нужный поток воздуха.



Рисунок 3.1 – Общий вид заслонки-диафрагмы

Требования к эксплуатации и испытаниям вентиляционных систем и вентиляционных установок. В проектах систем вентиляции и кондиционирования следует предусматривать технические решения, обеспечивающие:

1) нормируемый микроклимат и чистоту воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых и общественных зданий, в рабочей зоне производственных, лабораторных и складских помещений в зданиях любого назначения; нормируемую чистоту воздуха в чистых помещениях;

2) нормативно допустимые уровни шума и вибрации от работы оборудования и систем вентиляции и кондиционирования воздуха, кроме систем аварийной вентиляции и систем противодымной защиты, для которых при работе или опробовании в помещениях, где установлено это оборудование, допустим шум не более 110 дБА, а при импульсном шуме – не более 125 дБА;

3) ремонтпригодность систем вентиляции и кондиционирования воздуха;

4) взрывопожаробезопасность систем вентиляции и кондиционирования воздуха;

5) автоматическое регулирование и учет количества потребляемой теплоты.

В зависимости от специфики предприятия и особенностей производственного процесса вентиляционные системы и установки на разных предприятиях различаются. Нормативная документация также устанавливает разные требования к ним.

Существуют некоторые правила, общие для всех вентиляционных систем и вентиляционных установок:

- паспорта на вентиляционные системы должны быть в наличии (их количество должно соответствовать количеству вентсистем);
- предприятия обязаны производить периодические аэродинамические испытания систем вентиляции с получением протоколов испытаний, с отметкой о соответствии / не соответствии проектным значениям;
- в организации должно быть лицо, ответственное за исправное состояние и эксплуатацию систем вентиляции, либо ответственность возлагается на руководителя предприятия;
- следует производить регулярную чистку и дезинфекцию систем вентиляции (нормы СанПиН по общеобменной вентиляции, нормы противопожарной безопасности по местной вентиляции систем, подверженных повышенным жировым отложениям);
- периодическое обслуживание систем вентиляции должно осуществляться специализированными организациями.

Аэродинамические испытания проводятся на разных участках сети с целью установить фактические характеристики параметров воздуха, такие как:

- скорость воздуха, м/с;
- расход воздуха, м³/ч;
- гидравлическое сопротивление системы, Па;
- температура воздуха, °С.

Правильно налаженная вентиляционная система может реализовать такие задачи, как:

- создание и поддержание воздухообмена в помещениях;
- обеспечение передвижения потоков воздуха;
- удаление из помещений и цехов пыли, возникающего там избыточного тепла, выведение вредных газов и аэрозолей;
- обеспечение безопасного и комфортного микроклимата.

Огромную роль в обеспечении безопасных условий труда работников играет исправная и правильно функционирующая вентиляционная система.

Различают несколько способов организации воздухообмена: естественная вентиляция, механическая (искусственная), смешанная (сочетание естественной и механической).

Естественная вентиляция (аэрация) – вентиляция, осуществляемая под действием разности удельных весов (температур) наружного и внутреннего воздуха, под влиянием ветра или совместным их действием, а также под действием комплекса технических средств без механического привода. Организованная естественная вентиляция обеспечивается благодаря наличию вытяжных шахт, каналов, форточек и других средств, которые позволяют регулировать поступление свежего воздуха, а также объем и силу этого воздушного потока. При неорганизованной вентиляции воздушный поток не имеет четко выраженных систем, позволяющих контролировать и управлять процессом вентиляции. Это неконтролируемый процесс, воздух проникает через зазоры в конструкции здания.

Механическая вентиляция – вентиляция, осуществляемая при помощи комплекса технических средств с применением воздухотехнического оборудования с механическим приводом.

По месту действия различают общеобменную и местную вентиляции.

По направлению потока воздуха вентиляция бывает приточной, вытяжной и приточно-вытяжной.

Общеобменная вентиляция осуществляет замену воздуха по всему помещению, она наиболее целесообразна в случае, когда вредные вещества выделяются равномерно по всему помещению. Общеобменная вытяжная вентиляция обычно применяется при наличии незначительных утечек вредных газов и паров из закрытой аппаратуры, там, где местные отсосы оборудовать невозможно.

Вытяжная общеобменная вентиляция – вентиляция, осуществляющая регулируемое удаление воздуха из всего объема обслуживаемого помещения.

Приточная общеобменная вентиляция – вентиляция механическая, предназначенная для подачи воздуха в обслуживаемое помещение или рабочую зону.

Если в помещении присутствуют выраженные локализованные (местные) источники выделения вредных веществ, то общеобменная вентиляция может привести к их распространению по всему объему помещения и дать отрицательный эффект на других рабочих местах. В этих случаях отдельно или вместе с общеобменной применяют местную вентиляцию.

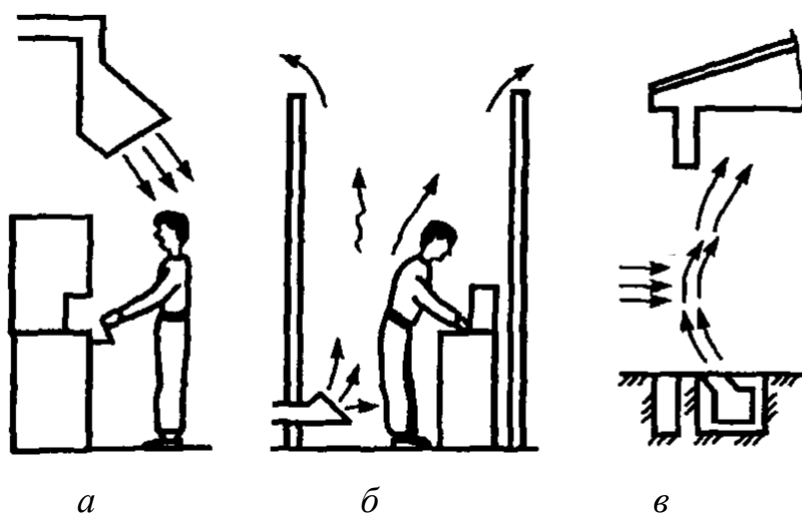
Местная вентиляция может быть приточной и вытяжной. *Местная вентиляция* – вентиляция, осуществляемая вытяжной или приточной

механической системой, предотвращающая или снижающая распространение вредных веществ по объему обслуживаемого помещения или рабочей зоны.

Чистый воздух при искусственно созданной вентиляции поступает в помещения и цеха предприятия только благодаря налаженной механической системе вентиляции. Приток воздуха и его удаление происходит с помощью вентиляторов. Данный способ организации вентиляции позволяет обеспечивать помещение необходимым количеством чистого воздуха, дает возможность регулировать температуру и влажность воздушных масс, позволяет реализовать как приток свежего воздуха на конкретное рабочее место, так и его удаление и фильтрацию.

К местной приточной вентиляции относятся воздушные души, местные оазисы, воздушные завесы.

Воздушное душирование представляет собой подачу на рабочее место воздушной струи заданной температуры и скорости движения горизонтально или сверху под углом (рисунок 3.2, а).



а – воздушный душ; б – местный оазис;
в – воздушно-тепловая завеса с нижней подачей воздуха

Рисунок 3.2 – Местные приточные вентиляционные устройства

Местный оазис – подача чистого воздуха в нижнюю часть рабочей зоны, отгороженную со всех сторон, кроме верха, мягкими щитами (рисунок 3.2, б).

Воздушная завеса – воздушный поток, направленный под углом в створ ворот, дверей для защиты помещения от проникновения в него холодного воздуха. Воздушные завесы могут быть с подачей холодного и подогретого

воздуха (до 50 °С для дверей и до 70 °С для ворот), с подачей воздуха снизу, сверху, с одной или двух сторон (рисунок 3.2, в).

Местная вытяжная вентиляция используется для удаления вредных веществ непосредственно на месте их образования. Она не только более экономична, но и более эффективна.

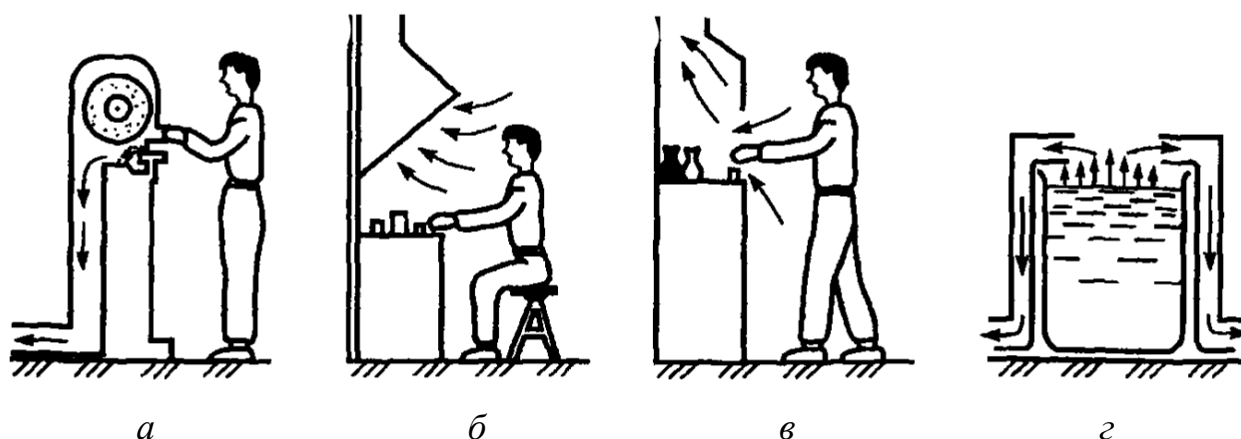
Выделяют следующие типы местной вытяжной вентиляции:

1) полностью закрытый кожух, укрывающий источники выделения вредных веществ, из которых отсасывается воздух, – *аспирационный кожух* (рисунок 3.3, а);

2) приемники, укрывающие источники выделения вредных веществ, но имеющие рабочие окна для обслуживания, – *вытяжные шкафы* (рисунок 3.3, в);

3) приемники, частично укрывающие источники вредных выделений производственной среды, – *укрытие шлифовального круга*;

4) открытые воздухоприемники (отсосы или иные конструкции), приближенные к источнику поступлений вредных веществ, – *вытяжной зонд* (рисунок 3.3, б) и *бортовые отсосы* (рисунок 3.3, г).



а – аспирационный кожух; б – вытяжной зонд; в – вытяжной шкаф;
г – бортовой отсос с ванны

Рисунок 3.3 – Местные вытяжные устройства

Паспорт системы вентиляции – это технический документ, содержащий данные о расположении вентсистемы, назначении, производительности, характеристиках, без которого использование системы вентиляции и вентиляционного оборудования запрещено. В документе описываются действующие параметры вентиляционной системы и прописывается их отклонение от нормативных показателей. Необходимость оформления паспорта

и его срок действия устанавливается в СанПиН «Требования к условиям труда работающих и содержанию производственных объектов».

Паспорт систем вентиляции включает следующие сведения:

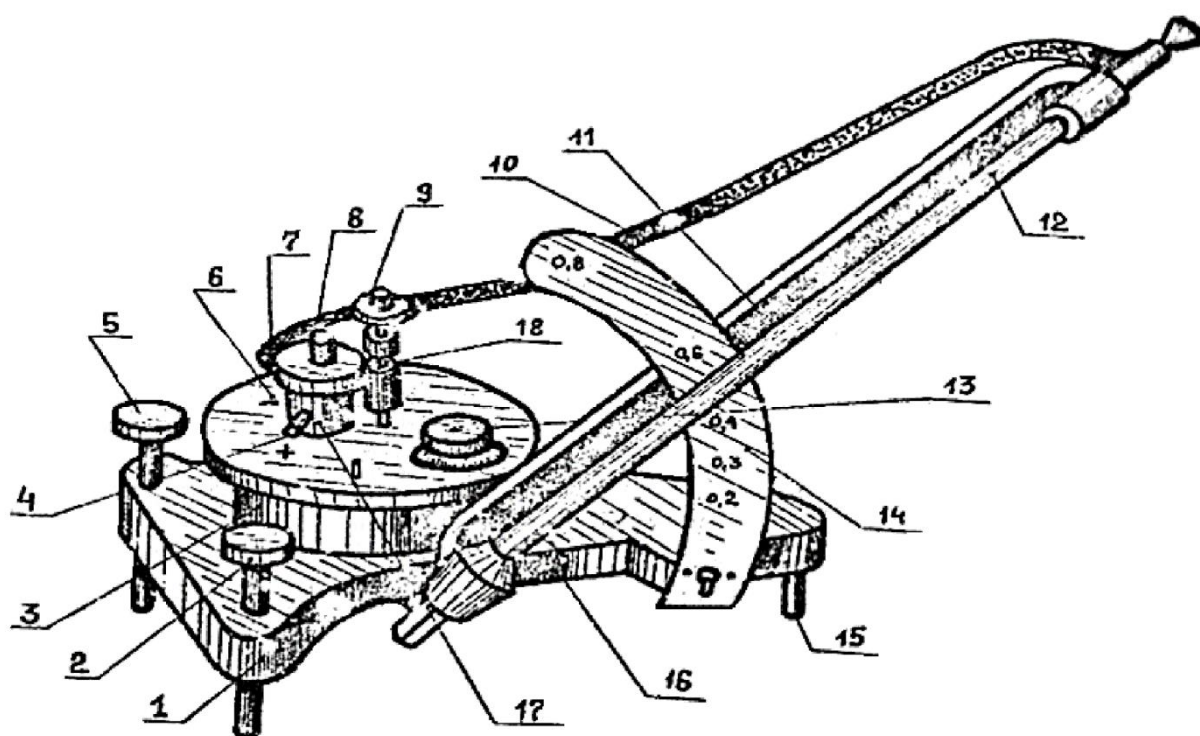
- назначение и производительность системы вентиляции;
- местонахождение системы вентиляции;
- характеристики оборудования;
- схему системы вентиляции с позиционированием всех воздухораспределительных устройств;
- протокол аэродинамических испытаний систем вентиляции.

ГОСТ 12.3.018–79 устанавливает методы измерений и обработки результатов при проведении испытаний вентсистем и их элементов для определения расходов воздуха и потерь давления.

Для измерения давления в газах используют микроманометры. Микроманометр (рисунок 3.4) представляет собой калиброванную наклонную трубку, которая имеет малое поперечное сечение. Она присоединена к резервуару, который имеет вместимость большую, нежели объем самой трубки. Соотношение вместимости трубки и сосуда подбирают таким образом, чтобы любые изменения уровня жидкостей в трубке не влияли на уровень жидкости, находящейся в сосуде.

При помощи уровня жидкости получается определить ее давление. Чтобы увеличить точность замеров необходимо увеличить наклон трубки относительно горизонтальной плоскости. Микроманометр изготавливают в двух вариантах, в первом случае прибор имеет постоянный угол наклона трубки, а во втором случае угол меняющийся. Если шланги были правильно подсоединены, то рабочая жидкость будет выдавливаться из сосуда прямо в трубку.

Устройство микроманометра ММН показано на рисунке 3.4. Прибор состоит из металлического корпуса 1, имеющего форму плиты, которую устанавливают на трех ножках. Левые ножки 2 и 5 винтовые, позволяющие устанавливать прибор в горизонтальном положении по уровням 16 с цилиндрическими ампулами, вмонтированными в плиту корпуса 1. Правая ножка 15 неподвижная. Металлическая чашка 3 цилиндрической формы с вертикальной осью закреплена в корпусе 1. Поворотная стеклянная трубка 12 со шкалой закреплена на раме 11 и может поворачиваться относительно оси корпуса на угол α от 10° до 90° . Геометрическая ось вращения трубки совпадает с нулевым делением шкалы. Раму 11 фиксируют в определенном положении на скобе 14 фиксатором.



1 – корпус; 2 и 5 – винтовые ножки; 3 – чашка; 4 – штуцер трубки «плюс»;
 6 – штуцер трубки «минус»; 7 – трехходовой кран; 8 – ручка крана;
 9 – регулятор уровня спирта на «нуль»; 10 – резиновая трубка; 11 – рама
 с фиксатором; 12 – стеклянная трубка со шкалой; 13 – пробка для заливки спирта;
 14 – скоба; 15 – неподвижная ножка; 16 – уровень; 17 – отверстие «нуль»

Рисунок 3.4 – Устройство микроманометра ММН (микроманометр
 многопредельный для измерения избыточного давления H)

Нижний конец измерительной трубки 12 соединен с чашкой 3 резиновой трубкой, которая заполнена спиртом. Верхний конец измерительной трубки 12 постоянно соединен резиновой трубкой 10 со штуцером трехходового крана 7, спирт заливают в чашку 3 через специальное отверстие в крышке чашки, закрытое пробкой 13. Для установки мениска спирта в трубке на нуль шкалы имеется регулятор уровня 9. При вращении винта регулятора по часовой стрелке происходит вытеснение спирта из чашки в трубку и увеличение его уровня в чашке и трубке.

В крышку чашки 3 вмонтирован трехходовой кран 7. В корпусе крана имеется три штуцера. Штуцер трубки «плюс» 4 служит для подвода давления к чашке, штуцер трубки «минус» 6 предназначен для передачи давления на спирт в трубке посредством третьего штуцера, постоянно соединенного резиновой трубкой 10 с верхним концом измерительной трубки 12.

На скобе 14 прибора против отверстий фиксатора написаны цифры коэффициента микроманометра, равные 0,3; 0,4; 0,6; 0,8.

Спирт заливают в чашку через отверстие 13. Для установки мениска спирта в трубке на нуль шкалы нужно вращать регулятор уровня 9. Для того чтобы мениск спирта установить на нуль, ручку 8 устанавливают в правое положение и начинают вращать регулятор 9. Для измерения давления ручку 8 трехходового крана 7 поворачивают к левому упору. В этом случае прибор отключается от атмосферы.

Резиновую трубку 10 от измеряемого давления в воздухопроводе подсоединяют к штуцеру «плюс» чашки, если давление больше атмосферного, и «минус», если измеряемое давление меньше атмосферного.

Расчет давления в воздуховоде. Перемещение газовой смеси происходит в определенном режиме. Все параметры потока должны быть известны заранее, чтобы оборудование работало без перегрузок, а сами воздухопроводы не подвергались чрезмерным нагрузкам. Основное значение параметра, которое нужно определить в первую очередь, – давление воздуха. Оно определяет эффективность работы системы и позволяет получить все остальные данные о режиме передвижения воздушного потока. Воздушный поток внутри воздуховода получает импульс от вентилятора и под его воздействием перемещается в заданном направлении. При этом общее давление в воздуховоде складывается из двух самостоятельных величин: статического и динамического давлений.

Смысл определения давления воздуха в воздуховодах заключается в сохранении параметров системы. Если имеется отрезок трубопровода, равномерно сужающийся от начала к концу (такие участки называются конфузорами), то в конечной точке будет наблюдаться изменение режима потока: увеличение скорости, уменьшение статического давления и увеличение динамического давления.

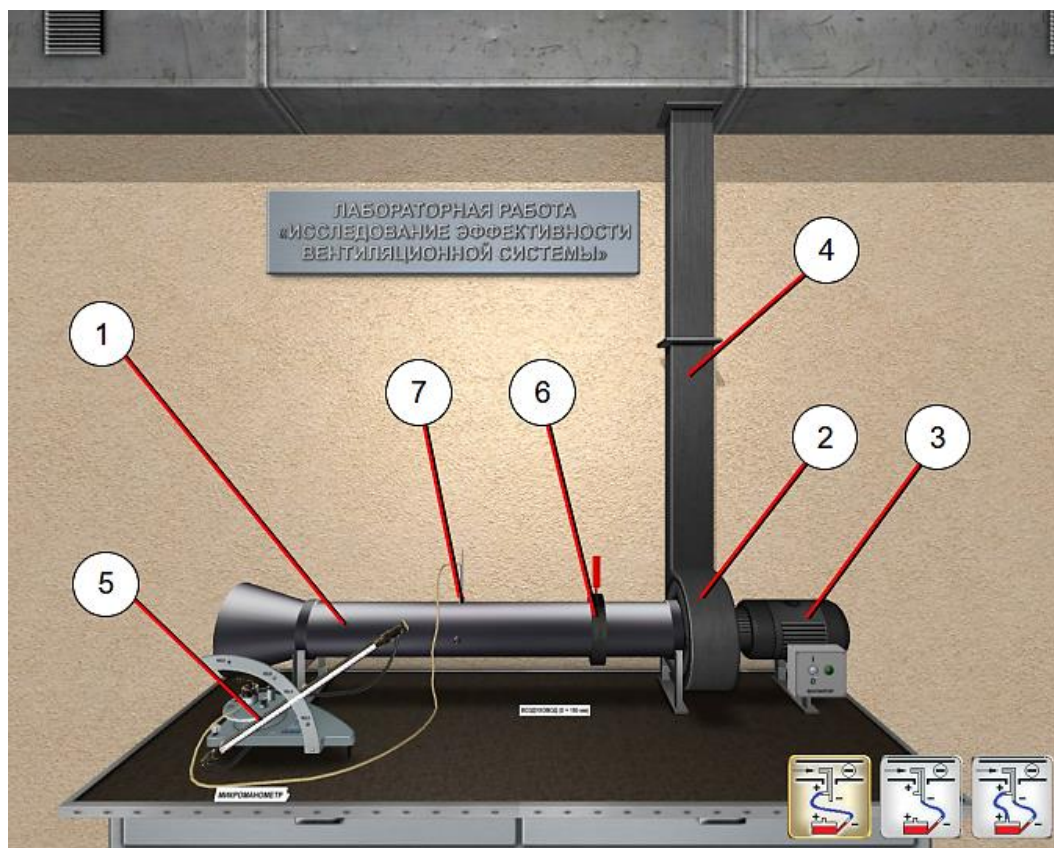
В результате общее давление останется неизменным, а скорость потока возрастет. Расход воздуха в конечной точке пропорционально упадет, поэтому перед началом понадобится придать потоку дополнительный импульс для сохранения общего режима работы системы. Для определения величины дополнительной энергии надо предварительно рассчитать давление и все остальные параметры потока.

Если на участке воздуховода имеется расширение (диффузор), происходит обратное явление – возрастает расход, но падает скорость и давление. Для сохранения режима также необходимо заранее рассчитывать начальные значения всех показателей воздушного потока в системе.

Сеть воздуховодов представляет собой сложную систему с большим количеством изгибов, ответвлений, переходов. Все они образуют динамическое сопротивление движению воздуха, которое надо учесть при расчете режима работы вентиляции. Определение давления при этом играет главную роль – позволяет оперировать другими данными.

Ход выполнения имитационных опытов

На рисунке 3.5 представлено виртуальное пространство лабораторной работы. Проведение лабораторной работы включает последовательное выполнение ряда имитационных опытов. Выполнение каждого имитационного опыта заключается в совершении ряда последовательных действий согласно стандартной методике эксперимента.



1 – воздуховод; 2 – вентилятор; 3 – электропривод; 4 – вытяжной короб;
5 – микроманометр; 6 – задвижка; 7 – трубка Пито

Рисунок 3.5 – Виртуальное пространство лабораторной работы

В лабораторной работе имитируется специально оборудованный стенд аэродинамического испытания общеобменной вентиляционной системы. Имитационная модель лабораторного стенда включает центробежный

вентилятор с электрическим приводом, воздуховод постоянного сечения, оснащенный специальной задвижкой в виде лепестковой диафрагмы, измерительную пневмометрическую трубку (трубку Пито) и аналоговый микроманометр.

Для включения вентилятора приблизьте камеру к блоку управления, расположенному на электроприводе вентилятора, наведите указатель мыши на тумблер «I/O» (тумблер отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 3.6). Выключение вентилятора осуществляется аналогично.

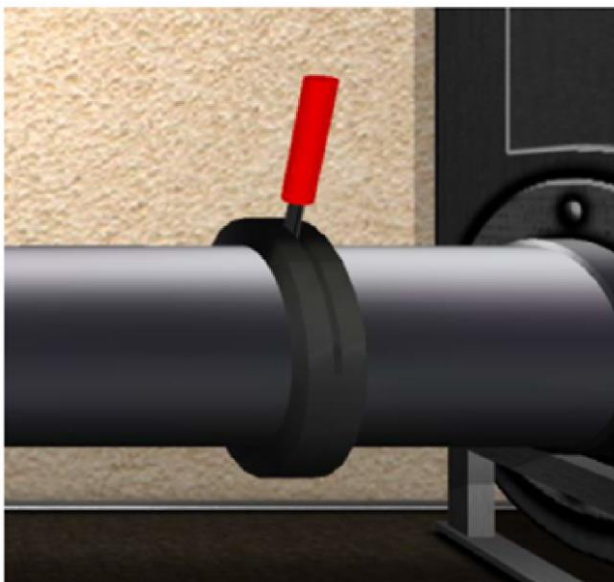


Рисунок 3.6 – Блок управления приводом вентилятора в выключенном (*а*) и включенном (*б*) состояниях

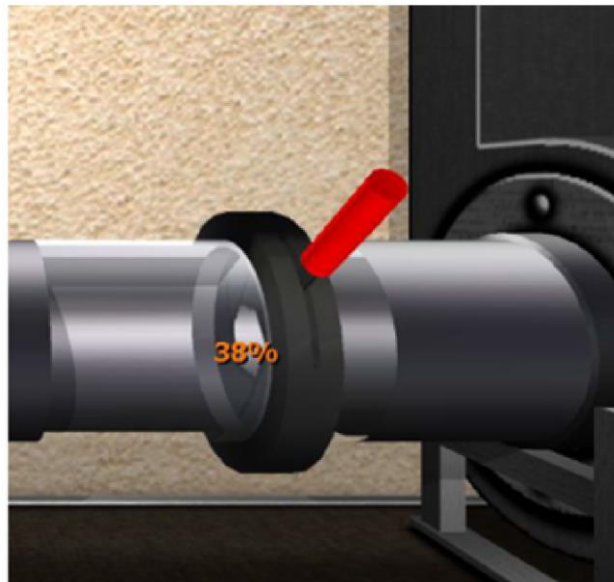
Расход воздуха в воздуховоде регулируется с помощью задвижки, расположенной перед вентилятором по ходу движения воздушного потока (рисунок 3.7, *а*). При наведении указателя мыши на задвижку участок воздуховода, на котором расположена задвижка, становится полупрозрачным, что позволяет увидеть текущее состояние лепестковой диафрагмы. На задвижке подписывается величина ее открытия в процентах (рисунок 3.7, *б*).

Нажатие (и удержание) левой кнопки мыши, когда указатель находится на задвижке, приведет к ее постепенному закрытию, а нажатие (и удержание) правой кнопки мыши – к постепенному открытию (рисунок 3.8).

Слева от задвижки на воздуховоде расположен узел замера давления. Пневмометрическая трубка может устанавливаться как вертикально (рисунок 3.9, *а*), так и горизонтально (рисунок 3.9, *б*). Для установки пневмометрической трубки в нужное положение наведите указатель мыши на верхнее (или боковое) конструктивное отверстие (объект отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши.



a



б

Рисунок 3.7 – Задвижка в невыделенном (*a*) и выделенном (*б*) состояниях

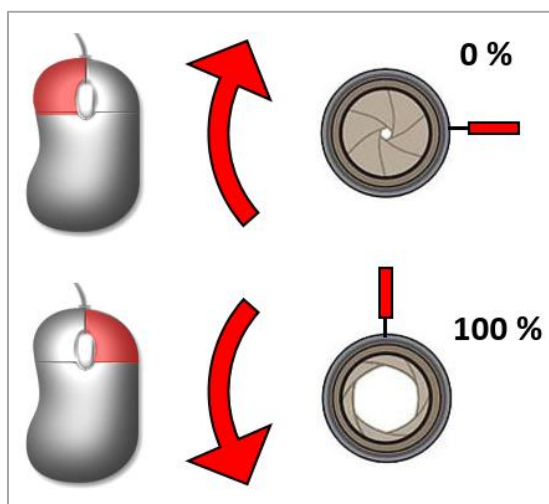


Рисунок 3.8 – Изменение состояния лепестковой диафрагмы с помощью мыши

Положение пневмометрической трубки внутри воздуховода можно изменять с помощью мыши. При этом дана возможность установки пневмометрической трубки в семи точках при вертикальном положении и семи точках при горизонтальном положении трубки в воздуховоде.

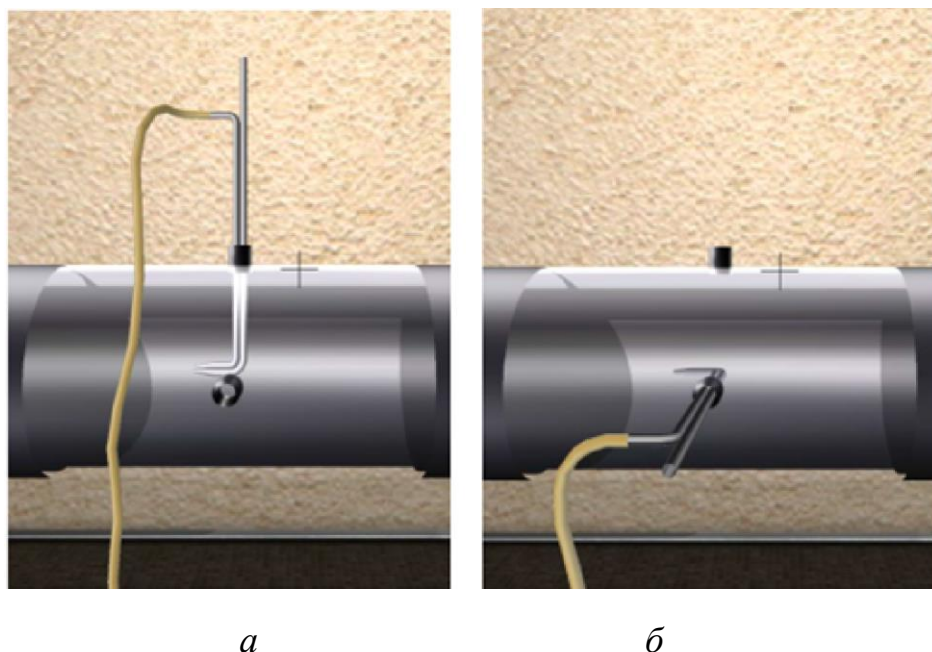


Рисунок 3.9 – Узел замера давления при вертикальной (*а*) и горизонтальной (*б*) установках пневмометрической трубки

Чтобы изменить положение трубки, наведите указатель мыши на нее (пневмометрическая трубка отобразится красным цветом), нажмите (и удерживайте) левую кнопку мыши, после чего плавно переместите мышь в направлении требуемого смещения трубки (рисунок 3.10).

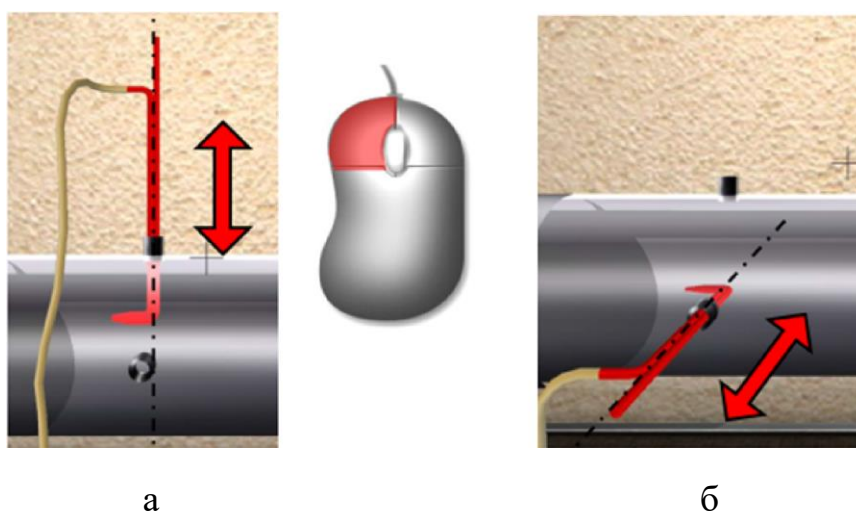
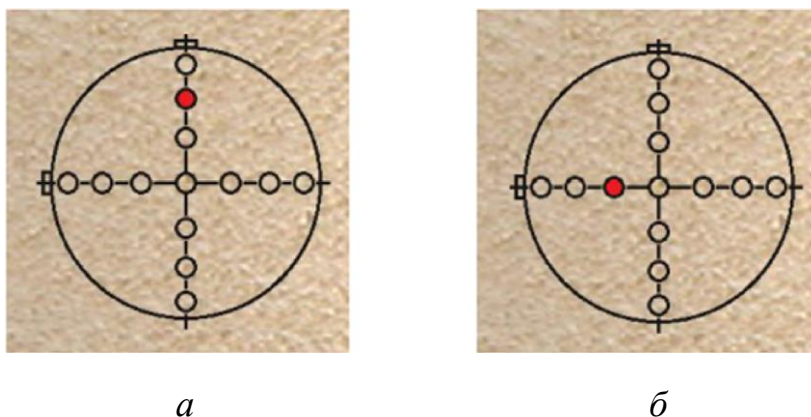


Рисунок 3.10 – Изменение положения пневмометрической трубки по сечению воздуховода с помощью мыши при вертикальной (*а*) и горизонтальной (*б*) установках

Положение пневмометрической трубки автоматически привязывается к ближайшей точке замера, при этом в левом верхнем углу экрана отображается схема расположения точек замера по сечению воздуховода (рисунок 3.11).



a – пневмометрическая трубка установлена вертикально и находится во второй точке замера; *б* – пневмометрическая трубка установлена горизонтально и находится в третьей точке замера

Рисунок 3.11 – Схема расположения точек замера по сечению воздуховода

В зависимости от текущей измеряемой величины – перепада общего (P_o), статистического ($P_{ст}$) или динамического (P_d) давления в мерном сечении воздуховода – даны три схемы подключения микроманометра. Переключение между схемами подключения микроманометра осуществляется с помощью специальных кнопок, расположенных в правом нижнем углу экрана (рисунок 3.12).

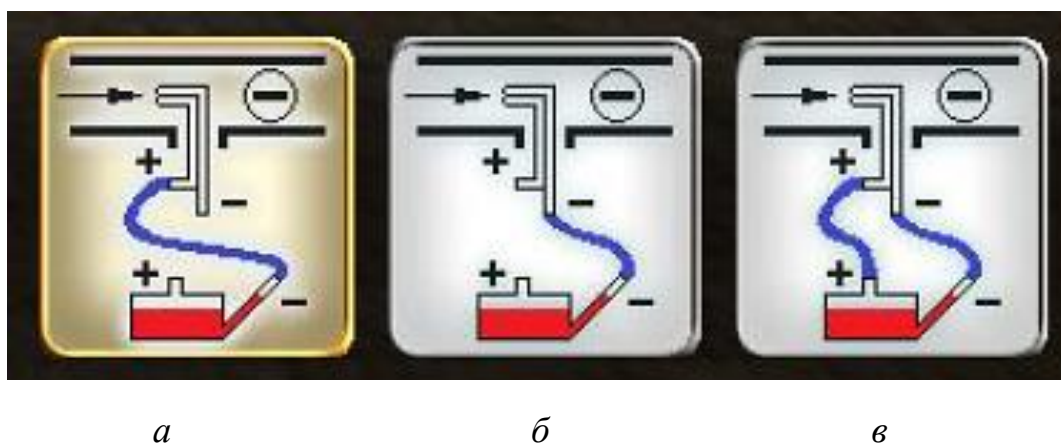


Рисунок 3.12 – Кнопки выбора схемы подключения микроманометра при измерении перепада общего (*a*), статического (*б*) и динамического (*в*) давления

Для переключения схемы подключения прибора наведите указатель мыши на требуемую кнопку и кликните левой кнопкой мыши, при этом микроманометр будет подключен соответствующим образом (рисунок 3.13).

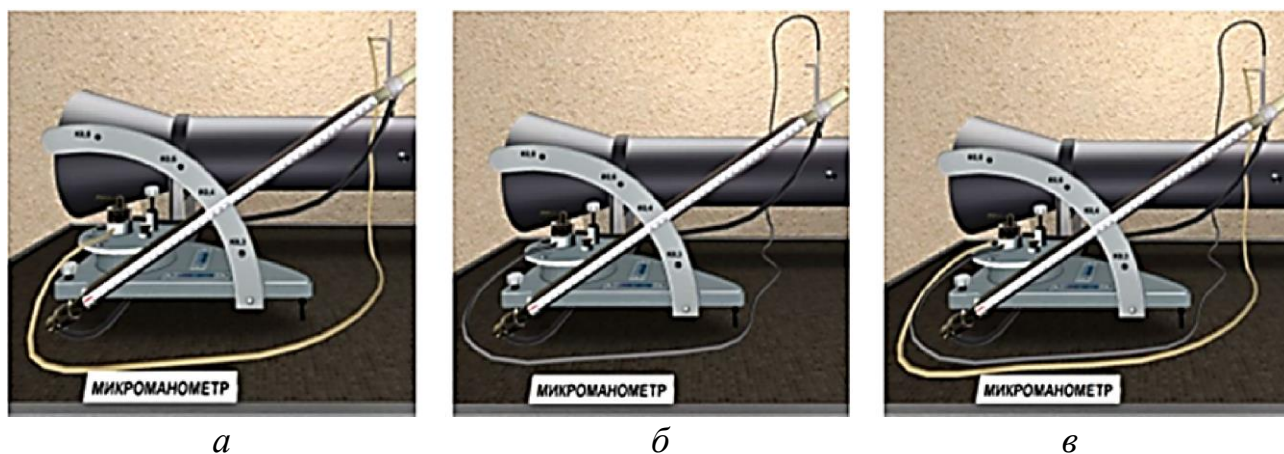


Рисунок 3.13 – Различные варианты подключения микроманометра при измерении перепада общего (*а*), статического (*б*) и динамического (*в*) давления

Шкала измерительной трубки микроманометра градуирована от 0 до 400 мм. В данной работе микроманометр имеет фиксированный угол наклона измерительной трубки с соответствующим ему коэффициентом $K = 0,4$. Для снятия показаний с прибора наведите вспомогательный прицел (перекрестие черного цвета в центре экрана) на центр свободной поверхности спирта в трубке микроманометра и зафиксируйте отсчет (мм) по шкале (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 – Снятие показаний с микроманометра

В качестве рабочей жидкости в микроманометре применяется спирт этиловый технический плотностью $0,8095 + 0,0005 \text{ г/см}^3$ при температуре плюс $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

На рисунке 3.15 изображен внешний вид имитационной модели микроманометра.

После выполнения каждого опыта измеренные данные заносятся в отчет. Данные обрабатываются в соответствии со стандартными методиками испытаний. По каждому опыту дается обоснованный вывод.



Рисунок 3.15 – Внешний вид имитационной модели с выбранной схемой подключения микроманометра для измерения перепада статического давления

Для выхода из виртуальной лабораторной работы нажмите клавишу «ESC».

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Протокол отчета.

Контрольные вопросы

- 1 Что называют вентиляцией?
- 2 Что называют вентиляционным выбросом?
- 3 Что такое кондиционирование воздуха?

- 4 Что относят к избыткам явной теплоты?
- 5 Какие требования предъявляют к вентиляционным системам и установкам?
- 6 Какое давление называют избыточным?
- 7 Каким устройством измеряют избыточное давление?
- 8 С целью установления каких фактических характеристик параметров воздуха проводят аэродинамические испытания?
- 9 Какие задачи решает налаженная вентиляционная система?
- 10 Какие различают способы организации воздухообмена?
- 11 Что такое паспорт системы вентиляции?
- 12 Какие сведения включает в себя паспорт системы вентиляции?

Список использованных источников

- 1 СН 4.02.01-03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» : утв. постановлением М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь от 16 декабря 2019 г. № 69 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W22035493p>.
- 2 ГОСТ 22270–2018 Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Термины и определения. – Введ. 2018–11–01. – М. : Стандартинформ, 2018. – 28 с.
- 3 ГОСТ 34060–2017 Испытание и наладка систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – Введ. 2018–02–01. – М. : Стандартинформ, 2018. – 32 с.
- 4 Р НОСТРОЙ 2.15.3–2011 Рекомендации по испытанию и наладке систем вентиляции и кондиционирования воздуха. – Введ. 2011–12–05. – М. : ТД «БОГЕНПРИНТ», 2012. – 168 с.
- 5 Сокол, Т. С. Охрана труда : учеб. пособие / Т. С. Сокол ; под общ. ред. Н. В. Овчинниковой. – Минск : Дизайн ПРО, 2005. – 304 с.
- 6 Краткое руководство пользователя // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_user_manual.pdf.
- 7 Краткое руководство администратора // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_admin_manual.pdf.

ПРОТОКОЛ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3 «Исследование эффективности вентиляционной системы»

Исходные данные:

Диафрагма открыта на
____ %, ____ %, ____ %

Состав бригады:

Группа _____

ФИО _____

ФИО _____

Индивидуальное задание:

1. Измерить и оценить перепады статического $P_{ст}$, динамического P_d и общего P_0 давления в воздуховоде.
2. Определить среднюю скорость $v_{д.ср}$ в воздуховоде и расход воздуха Q .
3. Сделать выводы.



Имитационный опыт № 1. Измерить и оценить перепад статического давления $P_{ст}$ в воздуховоде.

Подключить микроманометр по схеме № 2 (рисунок 3.16). Выполнить измерения статического давления в воздуховоде при горизонтальном и вертикальном расположении пневмометрической трубки. *Воздуховод* – это замкнутый по периметру канал, предназначенный для перемещения воздуха или газовоздушной смеси под действием разности давлений на концах канала. Результаты измерений и расчетов записать в таблицы 3.1 и 3.2.

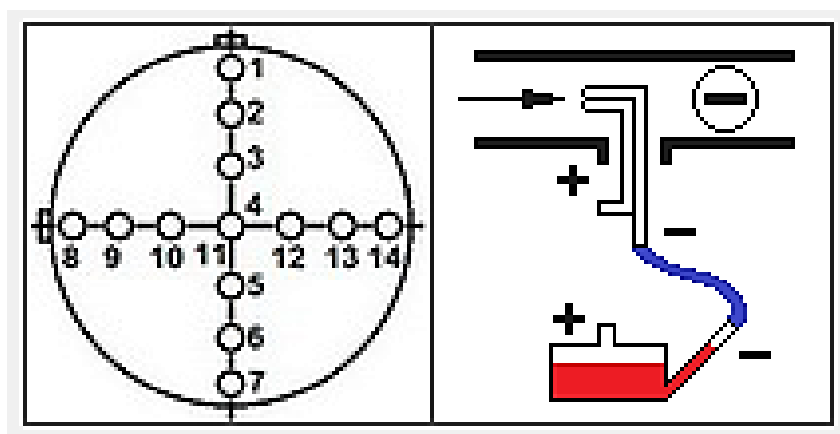


Рисунок 3.16 – Схема подключения микроманометра для измерения перепада статического давления (схема № 2)



Имитационный опыт № 2. Измерить и оценить перепад динамического давления P_d в воздуховоде.

Подключить микроманометр по схеме № 3 (рисунок 3.17). Выполнить измерение динамического давления в воздуховоде при горизонтальном и вертикальном расположении пневмометрической трубки. Результаты измерений и расчетов записать в таблицы 3.1 и 3.2.

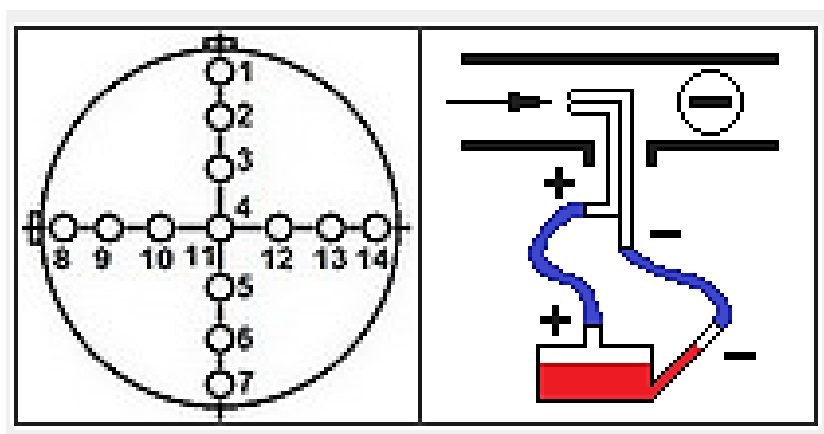


Рисунок 3.17 – Схема подключения микроманометра для измерения перепада динамического давления (схема № 3)



Имитационный опыт № 3. Измерить и оценить перепад общего давления P_o в воздуховоде.

Подключить микроманометр по схеме № 1 (рисунок 3.18). Выполнить измерение общего давления в воздуховоде при горизонтальном и вертикальном расположении пневмометрической трубки. Результаты измерений и расчетов записать в таблицы 3.1 и 3.2.

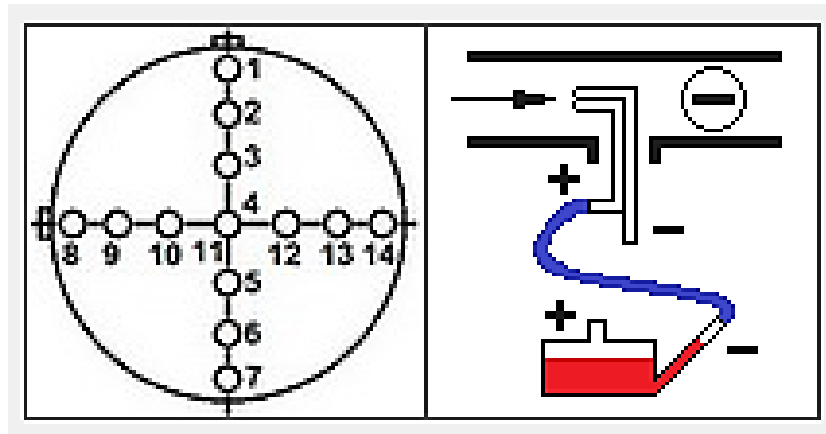


Рисунок 3.18 – Схема подключение микроманометра для измерения перепада общего давления (схема № 1)

Избыточное давление H рассчитывается по формуле

$$H = l \cdot K \cdot g \cdot \Delta, \text{ Па}, \quad (3.8)$$

где l – высота столбика жидкости, мм;

K – коэффициент прибора микроманометра, $K = 0,4$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

Δ – поправочный коэффициент на приведение результатов замера к стандартным значениям. Он определяется по зависимости температуры воздуха от давления воздуха при измерениях. Для выполнения лабораторных работ допускается принимать $\Delta = 0,9$.

Скорость воздуха в воздуховоде рассчитывается по формуле

$$v = 0,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_d \cdot g}{\rho}}, \text{ м/с}, \quad (3.9)$$

где H_d – динамическое давление, Н/м^2 ; $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ρ – плотность воздуха, $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$.

В выводах по исследованиям указать величины статического $P_{\text{ст}}$, динамического P_d , общего P_0 давления, а также скорость воздуха в воздуховоде v .

Таблица 3.1 – Результаты исследования распределения давлений в вентиляционном воздуховоде при вертикальном положении пневмометрической трубки

Номер точки замера по схеме сечения воздуховода	Диаметр воздуховода по схеме, D , мм	Избыточное давление, Па					
		статическое		динамическое		общее	
		l , мм	$\pm H_{ст}$, Па	l , мм	$\pm H_{д}$, Па	l , мм	$\pm H_{о}$, Па
1	150						
2	150						
3	150						
4	150						
5	150						
6	150						
7	150						

Таблица 3.2 – Результаты исследования распределения давлений в вентиляционном воздуховоде при горизонтальном положении пневмометрической трубки

Номер точки замера по схеме сечения воздуховода	Диаметр воздухо- вода по схеме, D , мм	Избыточное давление, Па					
		статическое		динамическое		общее	
		l , мм	$\pm H_{ст}$, Па	l , мм	$\pm H_{д}$, Па	l , мм	$\pm H_{о}$, Па
8	150						
9	150						
10	150						
11	150						
12	150						
13	150						
14	150						



Задание № 4. Определить среднюю скорость в воздуховоде и расход воздуха. Оформить таблицу 3.3.

Средняя скорость определяется по среднему динамическому давлению

$$v_{д.ср} = 1,29 \cdot \sqrt{H_{д.ср}}, \quad (3.10)$$

где $H_{д.ср}$ – среднее динамическое давление, Па.

Величину среднего динамического давления определяют по формуле

$$H_{д.ср} = \left(\frac{\sqrt{H_{д.1}} + \sqrt{H_{д.2}} + \dots + \sqrt{H_{д.n}}}{n} \right)^2, \quad (3.11)$$

где $H_{д.1}, H_{д.2}, \dots, H_{д.n}$ – динамические давления, измеренные в заданных точках поперечного сечения воздуховода, Па;

n – число точек замера.

Расход воздуха рассчитывается по формуле

$$Q = S \cdot v_{д.ср}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.12)$$

где S – площадь поперечного сечения воздуховода, $S = \pi \cdot r^2$, м²;

$v_{д.ср}$ – средняя скорость, м/с.

Таблица 3.3 – Сводная таблица замеров и расчетов скоростей и расходов воздуха

Диаметр воздуховода, D , мм	Площадь сечения воздуховода, S , м ²	Среднее динамическое давление, $H_{д.ср}$, Па	Средняя скорость, $v_{д.ср}$, м/с	Расход воздуха Q , м ³ /с	Расход воздуха Q , м ³ /ч
150	0,018				

Выводы по работе _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА

Цель: исследование процесса статической электризации при пневмотранспорте гранулированного материала с использованием приборов: киловольтметра, амперметра, вольтметра; исследование опасности воспламенения смеси полимерных материалов; оценка эффективности применения защитных мер (нейтрализация зарядов, заземляющее устройство) от электрических зарядов статического электричества.

План занятия

- 1 Изучить теорию.
- 2 Выполнить лабораторную работу.
- 3 Оформить отчет и защитить работу.

Теоретические сведения

Пневматический транспорт – транспортные средства непрерывного действия, в которых транспортирование груза осуществляется с помощью сжатого или разреженного газа.

Пневмотранспортные системы предназначены для перемещения насыпных и единичных грузов. Пневмотранспорт для насыпных грузов может перемещать пылевидные, порошкообразные, зернистые и кусковые материалы, а пневмотранспорт для единичных грузов предназначен для транспортирования по трубам почтовых отправок, различной производственной документации и мелких грузов, упакованных в патроны. Движение воздуха в трубопроводе создается нагнетательными или вакуумными насосами.

При эксплуатации транспортных средств непрерывного действия на работников могут воздействовать следующие опасные и вредные производственные факторы:

- движущиеся машины и механизмы;
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;

- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенный уровень статического электричества;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- химические опасные и вредные производственные факторы;
- тяжесть и напряженность труда.

Пневматический транспорт удобен на производствах, где используется мука, группы бакалейных товаров, на предприятиях химической, фармацевтической и строительной промышленности, для перемещения больших объемов продукта без каких-либо потерь на необходимые расстояния.

По принципу действия пневматические системы разделяют на три типа: нагнетательные, вакуумные и комбинированные.

Нагнетательные системы (рисунок 4.1) обладают наиболее простой конструкцией и являются наиболее популярным решением в большинстве транспортировочных процессов.

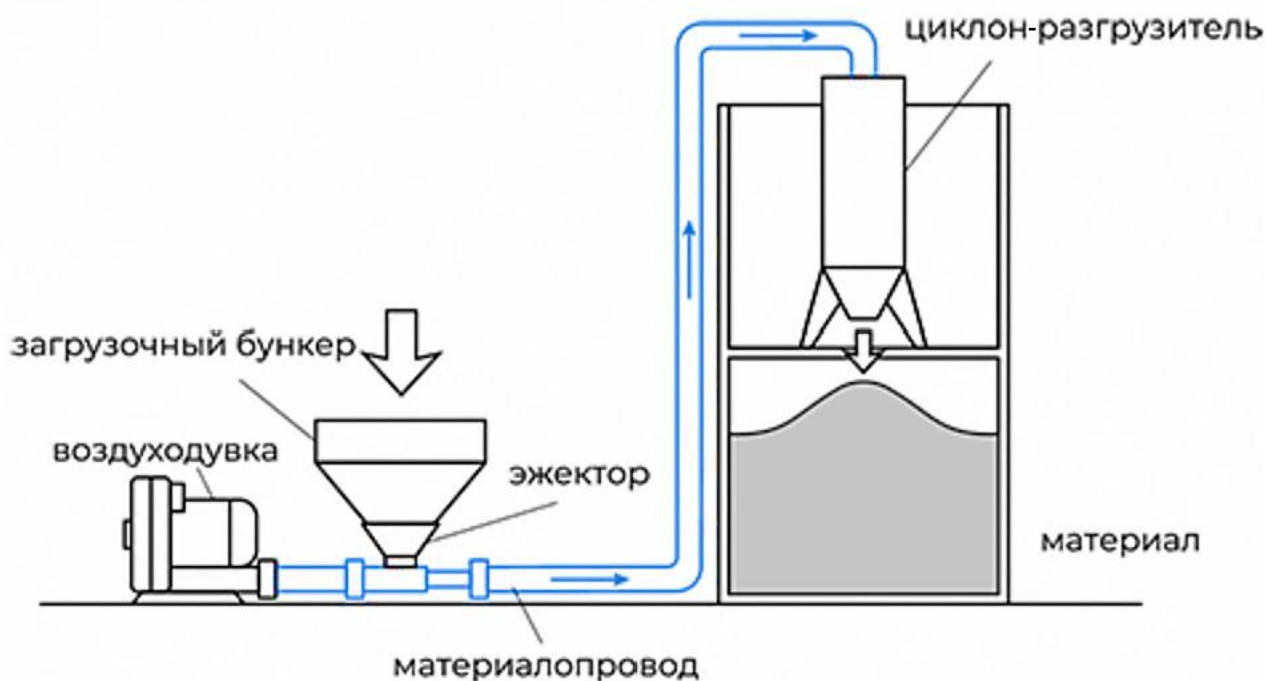


Рисунок 4.1 – Нагнетательная пневматическая система

Материал загружается в загрузочный бункер, из которого, попадая в поток воздуха, уносится потребителю. При работе с материалами, которые при

транспортировке образуют пыль, на выходе устанавливают циклон-разгрузитель, который предотвращает запыление помещения. Нагнетательные установки удобны в тех случаях, когда необходимо обеспечить подачу материала сразу в несколько пунктов приема из одного источника.

Вакуумные системы пневмотранспорта (рисунок 4.2) чаще всего характеризуются подвижным гибким заборным трубопроводом, который позволяет собирать материал с большей площади.

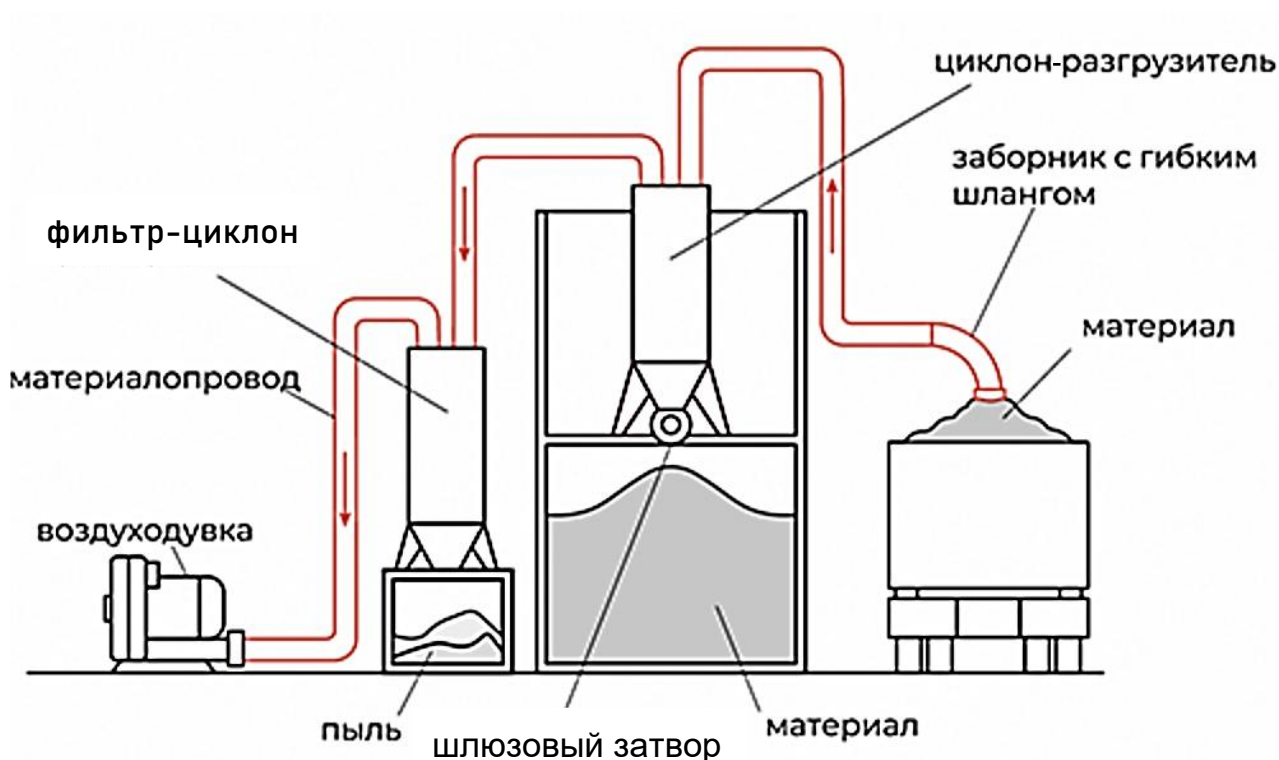


Рисунок 4.2 – Вакуумная пневматическая система

Через загрузочный гибкий рукав за счет большой скорости потока, образованной разностью давлений, в систему поступает материал и движется по трубопроводу до циклона-разгрузителя. С циклона материал сбрасывается через специальный затвор, предотвращающий попадание дополнительного воздуха в систему. Разрежение в системе создается с помощью воздуходувки, работающей в вакуумном режиме. Она откачивает воздух из циклона-разгрузителя, который перед попаданием в воздуходувку очищается системой фильтров, предотвращающих загрязнение воздуходувки. По такому же принципу работают промышленные пылесосы.

Всасывающие установки удобны тем, что они работают без пылевыведения и способны забирать сыпучий материал из нескольких точек приема и передавать его в единый сборник-накопитель.

Комбинированные системы (рисунок 4.3) сочетают в себе преимущества нагнетательной и вакуумной схем. Вакуумный забор материала из разных источников сочетается с подачей материала под давлением, обеспечивающим большую дальность переноса при большей концентрации. В небольших установках функцию обеспечения вакуума и создания избыточного давления может выполнять одна и та же воздуходувка.

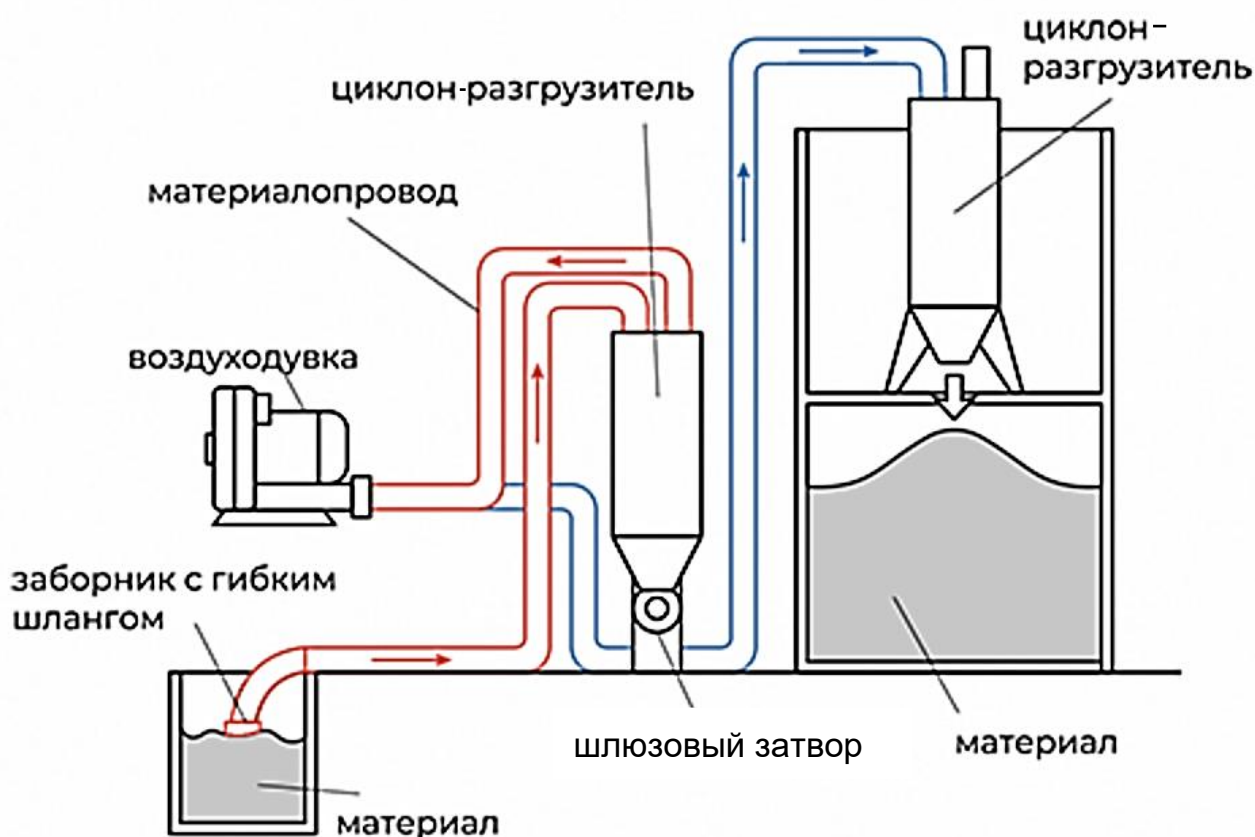


Рисунок 4.3 – Комбинированная пневматическая система

Пневмотранспорт служит для перемещения частиц твердого материала потоком транспортирующего газа по вертикальным, горизонтальным, наклонным и криволинейным трубопроводам (линиям). Наиболее распространенным транспортирующим агентом является воздух. Его движение обеспечивается разностью давлений в начале и в конце пневмолинии, причем в системах пневмотранспорта оно характеризуется развитым турбулентным режимом. При таком режиме течение газа можно рассматривать как случайно

изменяющееся во времени движение вихревых масс, совершающих поступательное и вращательное движение, причем в каждой фиксированной точке потока непрерывно меняются его скорости и давление.

Широкое применение пневмотранспортных установок объясняется простотой их конструкции, компактностью, незначительностью затрат на изготовление и эксплуатацию, надежностью работы и сравнительно высокой производительностью.

Наряду с отмеченными достоинствами, пневмотранспортные установки имеют серьезный недостаток – они пожаро- и взрывоопасны при перемещении горючих материалов.

Во многих случаях *импульсом воспламенения частиц транспортируемого продукта считают разряд статического электричества, теплоту трения, искры удара и трения.* При соударении частиц материалов, весьма чувствительных к механическим воздействиям, с конструктивными элементами транспортирующего оборудования также возможно воспламенение материала.

Приемники и воздухопроводы пневматического транспорта должны надежно заземляться.

Конструкция транспортных средств непрерывного действия должна исключать:

- случайное соприкосновение работников с горячими или переохлажденными поверхностями;

- накопление зарядов статического электричества в опасных количествах.

В конструкцию транспортных средств непрерывного действия должны входить необходимые ограждения, блокировки, сигнализация (звуковая, световая).

Для предупреждения возможности возникновения опасных искровых разрядов с поверхности оборудования, перерабатываемых веществ, а также с тела человека необходимо предусматривать, с учетом особенностей производства, следующие меры, обеспечивающие стекание возникающих зарядов статического электричества:

- а) отвод зарядов путем заземления оборудования и коммуникаций, а также обеспечения постоянного электрического контакта с заземлением тела человека;

- б) отвод зарядов путем уменьшения удельных объемных и поверхностных электрических сопротивлений;

- в) нейтрализация зарядов путем использования радиоизотопных, индукционных и других нейтрализаторов.

Для снижения интенсивности возникновения зарядов статического электричества:

а) всюду, где это технологически возможно, горючие газы должны очищаться от взвешенных жидких и твердых частиц; жидкости – от загрязнения нерастворимыми твердыми и жидкими примесями;

б) всюду, где этого не требует технология производства, должно быть исключено разбрызгивание, дробление, распыление веществ;

в) скорость движения материалов в аппаратах и магистралях не должна превышать значений, предусмотренных проектом.

Отвод зарядов путем заземления. Заземляющие устройства для защиты от статического электричества следует, как правило, объединять с заземляющими устройствами для электрооборудования.

Все металлические и электропроводные неметаллические части технологического оборудования должны быть заземлены независимо от того, применяются ли другие меры защиты от статического электричества.

Рассеяние зарядов путем уменьшения удельного объемного и поверхностного электрического сопротивления. В тех случаях, когда заземление оборудования не предотвращает накопления опасных количеств статического электричества, следует принимать меры для уменьшения удельного объемного или поверхностного электрического сопротивления перерабатываемых материалов.

Для уменьшения удельного поверхностного электрического сопротивления диэлектриков рекомендуется повышать относительную влажность воздуха до 65–70 % (если это допустимо по условиям производства). Для этой цели следует применять общее или местное увлажнение воздуха в помещении при постоянном контроле относительной влажности воздуха.

Для местного увеличения относительной влажности воздуха в зоне, где происходит электризация материалов, рекомендуется:

а) подача в эту зону водяного пара, при этом находящиеся в этой зоне электропроводные предметы должны быть заземлены;

б) охлаждение электризующихся поверхностей до температуры на 10 °C ниже температуры окружающей среды.

Для уменьшения удельного поверхностного электрического сопротивления в случаях, когда повышение относительной влажности окружающей среды не эффективно, можно дополнительно применять:

а) для химических волокон – обработку растворами поверхностно-активных веществ;

б) для полимерных материалов – нанесение растворов поверхностно-активных веществ на изделие.

Нейтрализация зарядов. В случае, когда нельзя достигнуть отвода зарядов статического электричества с помощью описанных выше средств, рекомендуется осуществлять нейтрализацию зарядов путем ионизации воздуха в непосредственной близости от поверхности заряженного материала.

Для нейтрализации зарядов статического электричества во взрывоопасных помещениях всех классов следует применять радиоизотопные нейтрализаторы.

В помещениях, не являющихся взрывоопасными, для нейтрализации зарядов статического электричества на плоских поверхностях (пленках, лентах, тканях, листах) во всех случаях, когда позволяет характер технологического процесса и конструкция машин, следует применять индукционные нейтрализаторы, как наиболее простые и дешевые.

Устанавливаться они должны таким образом, чтобы расстояние между их коронирующими электродами (иглы, проволочные щетки, нить, лента) и заряженной поверхностью было минимальным и не превышало 20–30 мм.

В случае невозможности применения индукционных нейтрализаторов или их недостаточной эффективности в помещениях, не являющихся взрывоопасными, следует применять высоковольтные нейтрализаторы (в частности типа ИН-5) и нейтрализаторы скользящего разряда.

Для нейтрализации зарядов статического электричества в труднодоступных местах, где невозможна установка нейтрализаторов, следует применять вдувание ионизированного воздуха. Ионизация воздуха в этом случае может производиться любым способом.

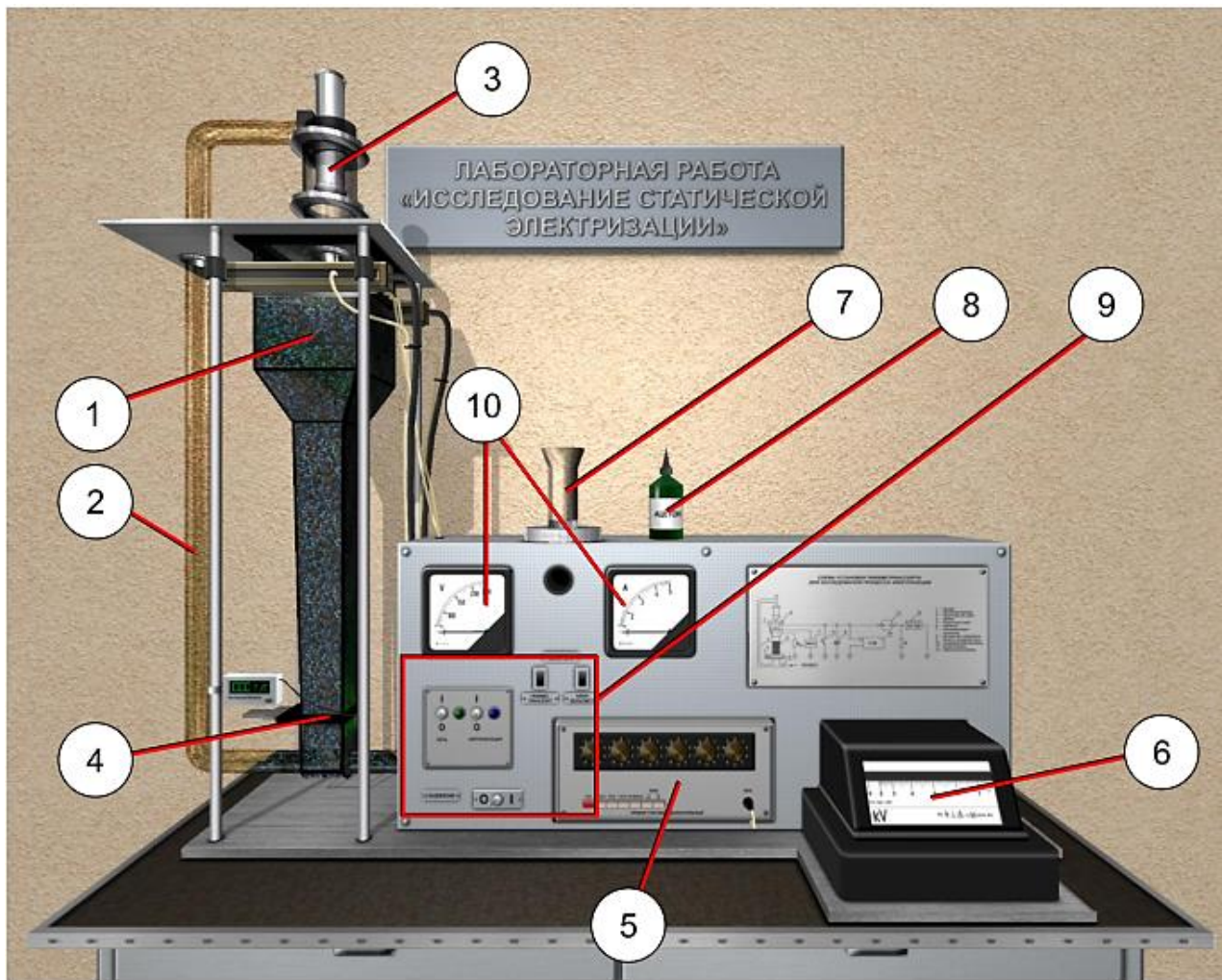
В случае, когда этот способ нейтрализации применяется во взрывоопасном помещении, ионизаторы (кроме радиоизотопных) должны быть взрывозащищенными или располагаться в соседних помещениях, не являющихся взрывоопасными.

Устройства для подачи ионизированного воздуха во взрывоопасные помещения должны иметь на всем своем протяжении заземленный металлический экран.

Ход выполнения имитационных опытов

На рисунке 4.4 представлено виртуальное пространство лабораторной работы. В виртуальной лабораторной работе имитируется специально оборудованный стенд, включающий систему пневмотранспорта твердой фазы (смеси полимерных материалов с размером частиц 3–5 мм) по замкнутому циклу циркуляции, устройства для регистрации электрических зарядов статического электричества, а также разрядную камеру («бомбу») емкостью 1 л с двумя

электродами, один из которых присоединен к алюминиевой обкладке бункера, а второй – заземлен.



1 – бункер; 2 – трубопровод; 3 – циклон; 4 – шибер и узел замера расхода;
5 – пересчетное устройство; 6 – киловольтметр; 7 – предохранительная трубка
на крышке разрядной камеры; 8 – емкость с ацетоном; 9 – тумблеры
управления установкой; 10 – измерительные устройства (амперметр
и вольтметр)

Рисунок 4.4 – Виртуальное пространство лабораторной работы

Расход материала в системе регулируется с помощью шиберного затвора (рисунок 4.5).

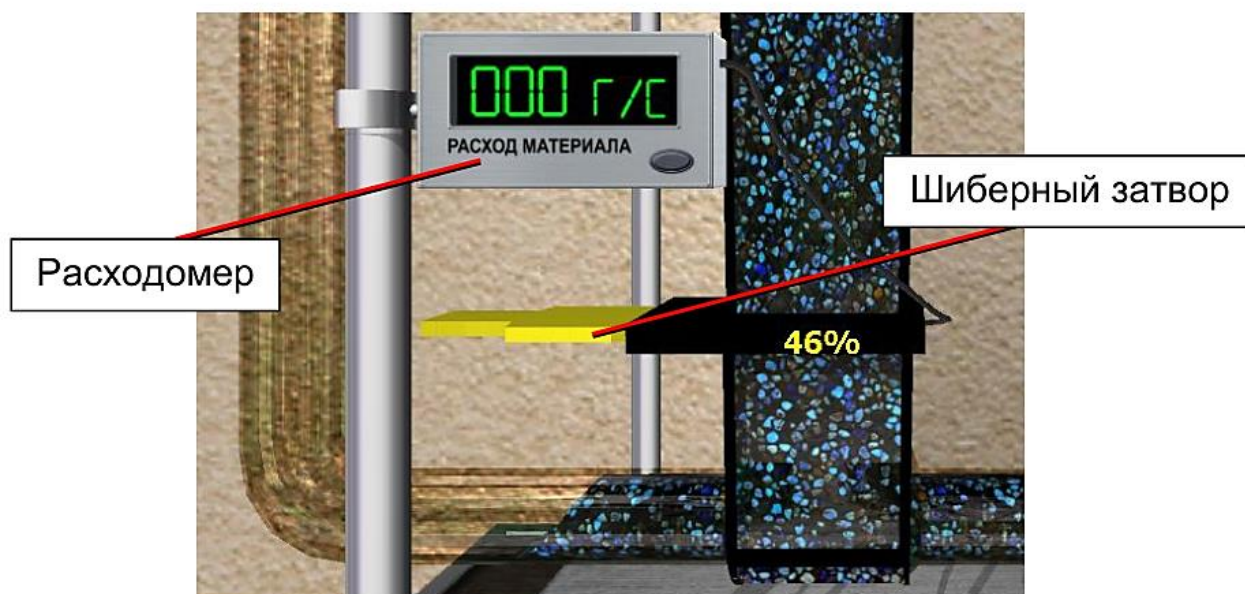


Рисунок 4.5 – Шибер и узел замера расхода

Чтобы изменить положение шибера, приблизьте камеру в узел замера расхода, наведите указатель мыши на шибер (объект отобразится желтым цветом), нажмите (и удерживайте) левую кнопку мыши. Плавно перемещая мышшь влево или вправо (рисунок 4.6), установите шибер на нужную величину открытия (процентная величина открытия шибера отображается на экране).

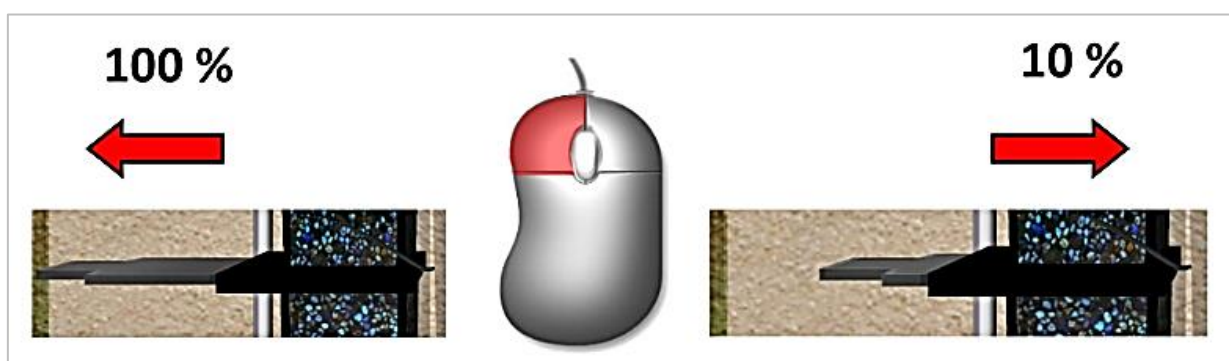


Рисунок 4.6 – Изменение положения шибера с помощью мыши

Для включения лабораторной установки в сеть наведите указатель мыши на соответствующий тумблер на передней панели стенда (тумблер отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 4.7). Выключение установки осуществляется аналогично.



Рисунок 4.7 – Тумблер включения лабораторной установки в сеть

Включение пневмотранспорта материала осуществляется наведением указателя и кликом левой кнопкой мыши по соответствующему выключателю на передней панели стенда (рисунок 4.8). Аналогично включается в сеть киловольтметр (рисунок 4.8).

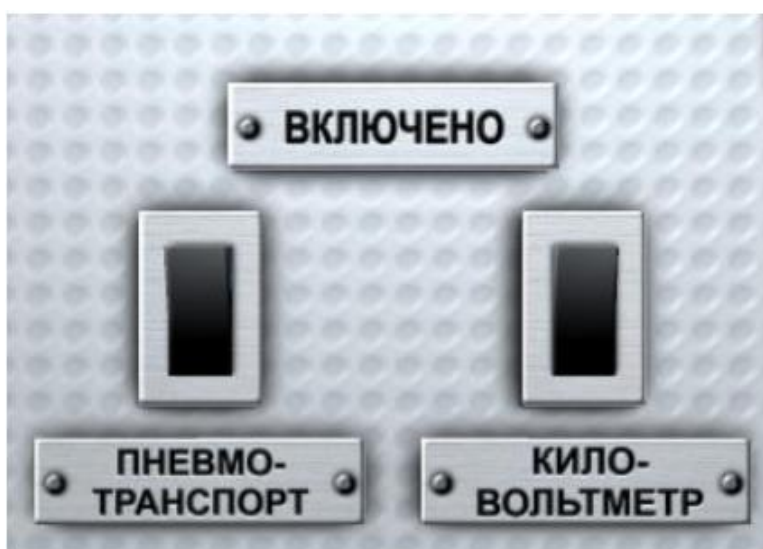


Рисунок 4.8 – Выключатели пневмотранспорта и киловольтметра

При включенной подаче воздуха гранулированный материал начинает циркулировать в системе пневмотранспорта. Расход материала (г/с) отображается на соответствующем индикаторе (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Циркуляция материала в системе пневмотранспорта

В режиме работы пневмотранспорта материала при отключенных средствах защиты (нейтрализация зарядов и заземление) в системе происходит накопление зарядов статического электричества. При достижении пробивного напряжения между электродами в верхней части бункера возникает искровой разряд, который можно наблюдать визуально через специальное конструктивное отверстие в разрядной камере (рисунок 4.10).



Рисунок 4.10 – Образование искрового разряда в разрядной камере

Величина электрического потенциала фиксируется включенным в сеть киловольтметром (рисунок 4.11). Образующий искровой разряд также фиксируется пересчетным прибором (рисунок 4.12).

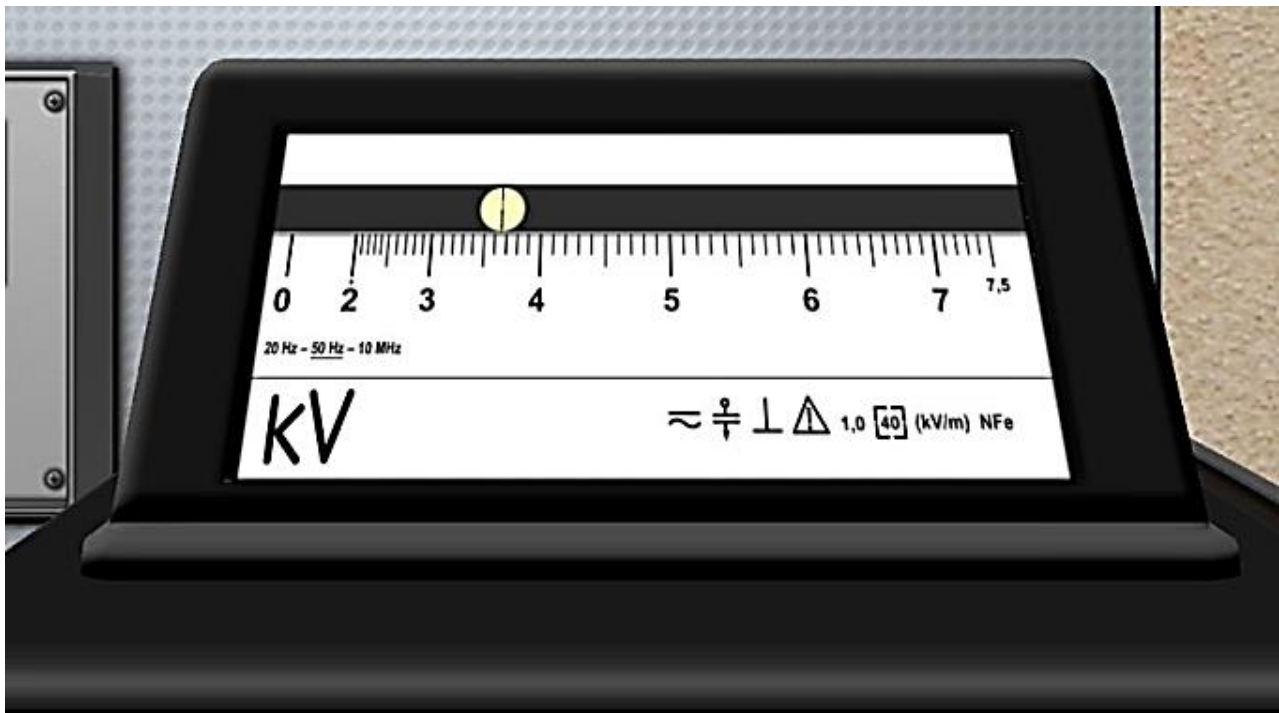


Рисунок 4.11 – Имитационная модель киловольтметра



Рисунок 4.12 – Имитационная модель пересчетного прибора

Для включения пересчетного прибора в сеть наведите указатель мыши на соответствующую кнопку на лицевой панели пересчетного прибора (см. рисунок 4.12) и кликните левой кнопкой мыши. Пересчетный прибор отображает количество зарегистрированных искровых разрядов с момента нажатия кнопки «Пуск» на лицевой панели прибора. С помощью нажатия кнопки «Стоп» счетчик останавливается, а клик по кнопке «Сброс» приведет к обнулению счетчика. Клик по кнопке «Проверка» запустит счетчик прибора в режиме проверки. Показание счетчика прибора выводится на соответствующие индикаторы прибора. Индикаторы отражают (справа налево): единицы, десятки, сотни, тысячи, десятки тысяч и сотни тысяч (рисунок 4.13) зафиксированных значений.



Рисунок 4.13 – Индикаторы пересчетного прибора

В процессе работы счетчика пересчетного прибора в правом верхнем углу экрана отображается секундомер (рисунок 4.14), фиксирующий время накопления зарядов статического электричества, что позволяет оценить количество импульсов статического электричества, а затем и количество импульсов (разрядов) в секунду.

Защитными мерами от разрядов статического электричества служат низкочастотный ионизатор типа ИН-5 (нейтрализация зарядов) и заземляющее устройство. Для включения нейтрализации зарядов статического электричества наведите указатель мыши на соответствующий тумблер на передней панели лабораторного стенда (тумблер отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 4.15). Выключение нейтрализации зарядов осуществляется аналогично.



Рисунок 4.14 – Отображение секундомера для замера времени накопления зарядов статического электричества



Рисунок 4.15 – Тумблер включения нейтрализации зарядов статического электричества

Включение и выключение заземляющего устройства осуществляется с помощью соответствующего тумблера в нижней части лицевой панели лабораторного стенда (рисунок 4.16). Тумблер «Заземление» можно включить только при выключенном тумблере «Нейтрализация».

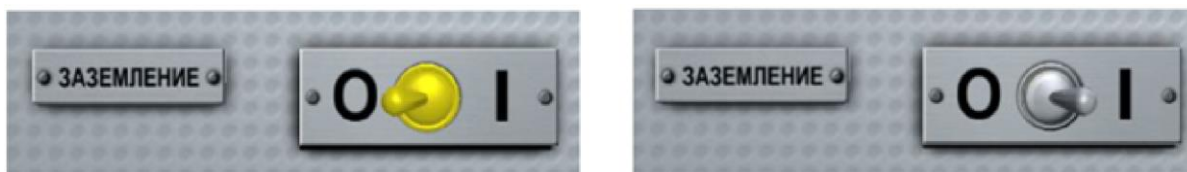


Рисунок 4.16 – Тумблер включения заземляющего устройства

Имитационная лабораторная установка позволяет исследовать опасность воспламенения горючих смесей разрядами статического электричества.

В верхней части лабораторного стенда расположена крышка разрядной камеры с установленной на ней предохранительной трубкой.

Для проведения опыта отключите подачу воздуха (в случае если пневмотранспорт был включен), после чего наведите указатель мыши на предохранительную трубку (объект отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 4.17, *а*).

Предохранительная трубка будет снята с крышки разрядной камеры (рисунок 4.17, *б*).



а – предохранительная трубка при наведении указателя мыши;
б – предохранительная трубка снята с крышки разрядной камеры

Рисунок 4.17 – Крышка разрядной камеры и предохранительная трубка

Для добавления в разрядную камеру нескольких капель ацетона наведите указатель мыши на емкость с жидкостью и кликните левой кнопкой мыши.

После добавления жидкости под предохранительную трубку автоматически будет установлена специальная мембрана (рисунок 4.18).

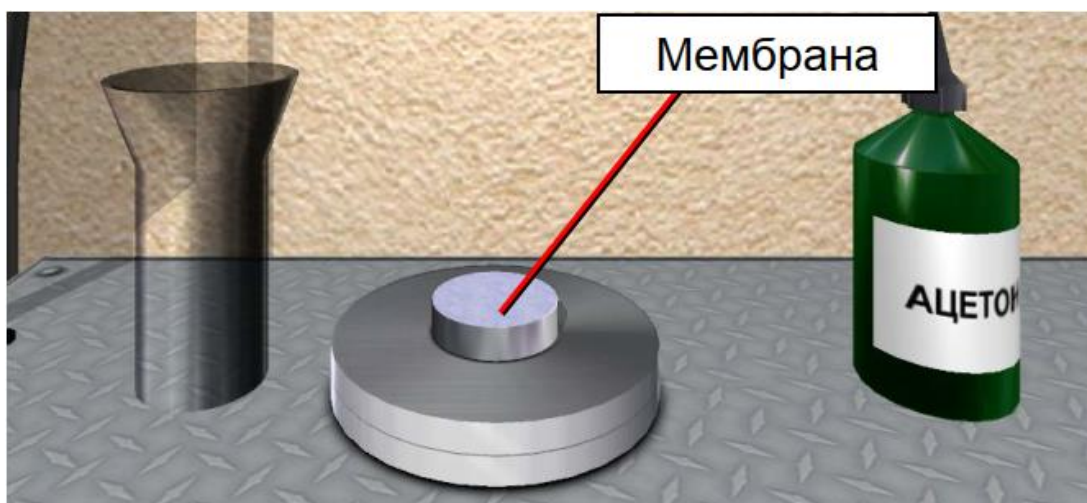
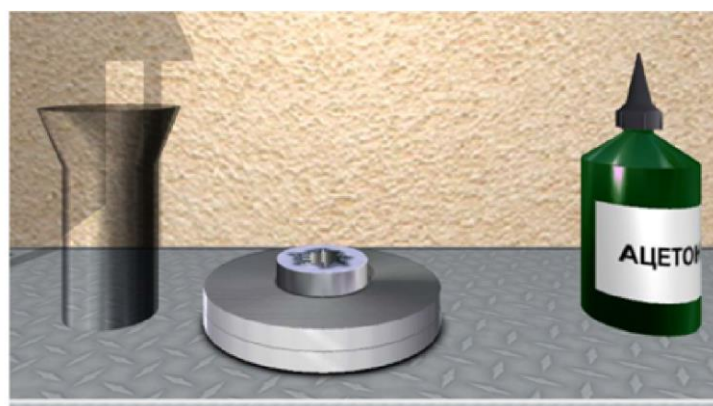


Рисунок 4.18 – Специальная мембрана на крышке разрядной камеры

Повторный клик левой кнопкой мыши по предохранительной трубке приведет к ее установке в рабочее положение, после чего можно включить установку на заданную производительность и зафиксировать взрыв (рисунок 4.19, *а*) в разрядной камере по разрыву мембраны (рисунок 4.19, *б*).



а



б

а – задымление при взрыве мембраны в предохранительной трубке;

б – предохранительная трубка снята с крышки разрядной камеры после разрыва мембраны

Рисунок 4.19 – Процесс взрыва в разрядной камере

Чтобы удалить разорванную мембрану, наведите указатель мыши на предохранительную трубку и кликните по ней левой кнопкой мыши, после чего

кликните левой кнопкой мыши по разорванной мембране. После произведенных действий опыт можно повторить.

После выполнения каждого опыта измеренные данные занесите в отчет. Данные обрабатываются в соответствии со стандартными методиками испытаний. По каждому опыту дайте обоснованный вывод.

Для выхода из виртуальной лабораторной работы нажмите клавишу «ESC».

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Протокол отчета.

Контрольные вопросы

- 1 Для чего предназначен пневматический транспорт?
- 2 Что наиболее часто выступает в роли транспортирующего агента?
- 3 Укажите причины воспламенения частиц транспортируемого продукта.
- 4 Назовите защитные меры от разрядов статического электричества.
- 5 С какими опасными и вредными производственными факторами сталкиваются работники при эксплуатации пневмотранспорта?
- 6 На какие типы по принципу действия разделяют пневмотранспорт?
- 7 Перечислите предупреждающие меры, обеспечивающие стекание возникающих зарядов статического электричества с поверхности оборудования, с тела работника.
- 8 Какова рекомендуемая относительная влажность воздуха для уменьшения удельного поверхностного электрического сопротивления диэлектриков?
- 9 Какие средства применяют для нейтрализации зарядов статического электричества?
- 10 Перечислите условия применения различных способов нейтрализации во взрывоопасном помещении.

Список использованных источников

- 1 Промышленное оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://erstvak.com/industrial/use/pnevмотransport/>.
- 2 ГОСТ 12.4.124–83 ССБТ Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования. – Введ. 1983–01–27. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 6 с.
- 3 Об утверждении Межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации конвейерных, трубопроводных и других транспортных средств

непрерывного действия : постановление М-ва труда и социальной защиты Респ. Беларусь от 10 апреля 2007 г. № 54 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=W20716366>.

4 Краткое руководство пользователя // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_user_manual.pdf.

5 Краткое руководство администратора // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_admin_manual.pdf.

ПРОТОКОЛ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАБОТНОЙ РАБОТЕ № 4

«Исследование процесса статической электризации при пневмотранспорте гранулированного материала»

Исходные данные:

Открытие шиберного затвора на 100 %, _____ %, _____ %, _____ %.

Состав бригады:

Группа _____
ФИО _____
ФИО _____

Индивидуальное задание:

- 1 Исследовать электростатическую искроопасность при пневмотранспорте гранулированного материала.
- 2 Исследовать опасность воспламенения горючей жидкости «Ацетон» разрядами статического электричества.
- 3 Оценить эффективность защитных мер от разрядов статического электричества.
- 4 Сделать выводы.



Имитационный опыт № 1. Исследовать электростатическую искроопасность при пневмотранспорте гранулированного материала. Время каждого исследования – 20 мин.

Включить лабораторную установку в сеть (см. рисунок 4.7). Включить тумблер «Пневмотранспорт» и тумблер «Киловольтметр» (см. рисунок 4.8). Включить пересчетный прибор, нажав кнопку «Сеть» (см. рисунок 4.12).

Установить величину открытия шиберного затвора на 100 % (____ %, ____ %, ____ %), в течение 20 мин (время отсчета показывает секундомер пересчетного прибора) эксперимента определить значения следующих величин и занести их в таблицу протокола отчета:

- расход материала;
- количество зарегистрированных искровых разрядов с момента нажатия кнопки «Пуск» на лицевой панели пересчетного прибора;
- величину электрического потенциала каждого искрового разряда;
- количество искровых разрядов в секунду.

Открытие шиберного затвора, %	Расход материала, г/с	Величина электрического потенциала каждого искрового разряда (указать через точку с запятой)	Количество зарегистрированных искровых разрядов	Количество искровых разрядов в секунду	Среднее значение величины электрического потенциала искрового разряда
100					

Вывод: _____



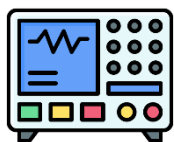
Имитационный опыт № 2. Исследовать опасность воспламенения горючей жидкости «Ацетон» разрядами статического электричества.

Отключить подачу воздуха. Добавить в разрядную камеру несколько капель ацетона. Запустить установку, шиберный затвор открыть на 10 %.

Изменяя процент открытия шиберного затвора (см. рисунок 4.6) от 10 до 100 %, зафиксировать момент разрыва мембраны в разрядной камере (см. рисунок 4.19). Результаты занести в таблицу.

Параметр	Величина
Шибберный затвор, %	
Расход материала, г/с	
Величина электрического потенциала искрового разряда, кВ	

Вывод: _____



Имитационный опыт № 3. Оценить эффективность мер защиты: нейтрализация зарядов статического электричества и заземляющее устройство.

Включить лабораторную установку в сеть (см. рисунок 4.7). Включить тумблер «Пневмотранспорт» и тумблер «Киловольтметр» (см. рисунок 4.8). Включить пересчетный прибор, нажав кнопку «Сеть» (см. рисунок 4.12). Включить нейтрализацию зарядов статического электричества (см. рисунок 4.7) / заземление (см. рисунок 4.16).

Изменяя процент открытия шиберного затвора (рисунок 4.6) от 10 до 100 %, оценить эффективность защитных мер. Выводы занести в протокол отчета.

Защитная мера	Вывод
Нейтрализация зарядов статического электричества (с использованием низкочастотного ионизатора типа ИП-5)	
Заземляющее устройство	

Выводы по работе: _____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Цель: исследование влияния параметров трехфазной трехпроводной сети напряжением до 1000 В на величину тока, протекающего через тело человека, прикоснувшегося к корпусу поврежденной электроустановки, с использованием миллиамперметра, амперметра, вольтметра; исследование эффективности технических способов обеспечения электробезопасности.

План занятия

- 1 Изучить теорию.
- 2 Выполнить лабораторную работу.
- 3 Оформить отчет и защитить работу.

Теоретические сведения

В зависимости от режима нейтрали и наличия нулевого провода на практике применяются главным образом два вида электрических сетей – трехфазные четырехпроводные с заземленной нейтралью (рисунок 5.1) и трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью (рисунок 5.2). Кроме того, в передвижных электроустановках (ЭУ) и устройствах допускается применение четырехпроводных сетей с изолированной нейтралью.

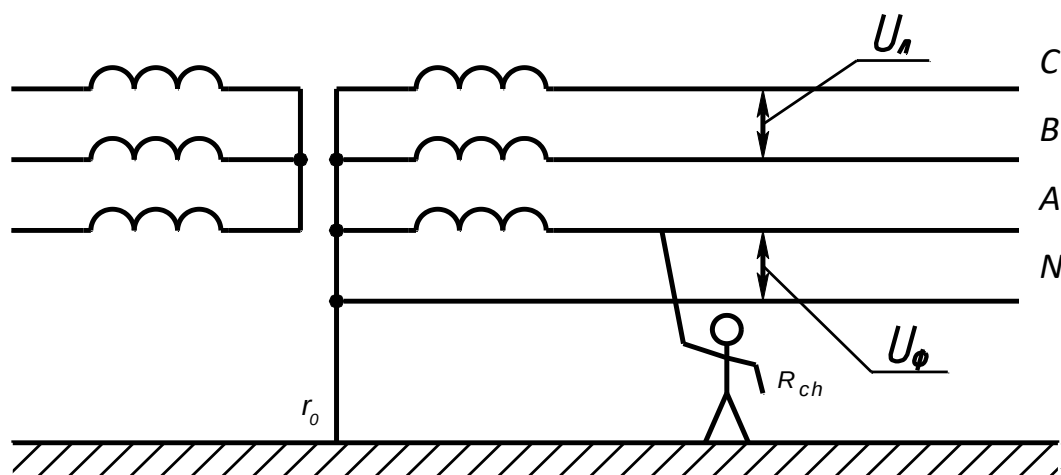


Рисунок 5.1 – Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью, нормальный режим работы сети

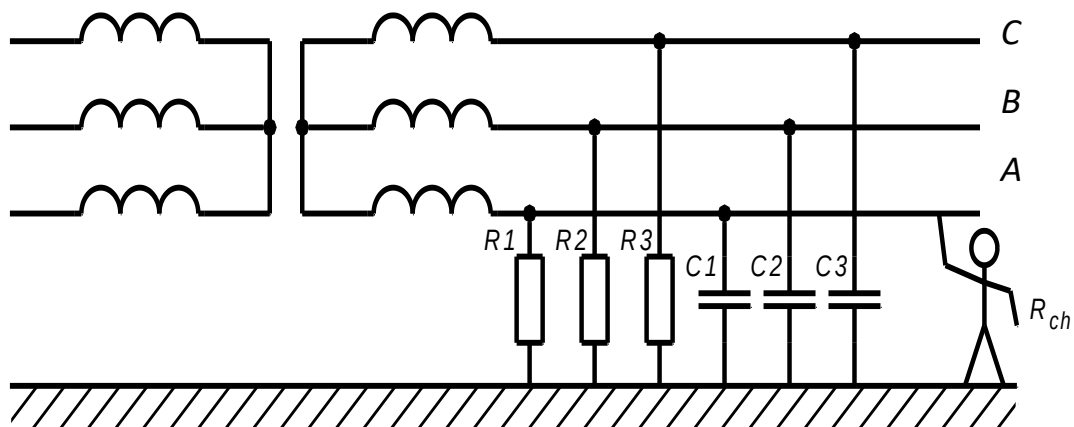


Рисунок 5.2 – Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью, нормальный режим работы сети

Изолированной называется нейтраль трансформатора или генератора (источника электрической энергии сети), не присоединенная к заземляющему устройству, т. е. не имеющая электрического соединения с землей.

Заземленная нейтраль – нейтраль источника питания (трансформатора или генератора), которая хоть как-то соединена с землей.

Глухозаземленная нейтраль – нейтраль источника питания (трансформатора или генератора), непосредственно соединенная с заземляющим устройством или проводником с минимальным сопротивлением.

Каждая из применяемых сетей характеризуется различной степенью электробезопасности.

Оценка опасности электропоражения. Оценка опасности электропоражения заключается в расчете (или измерении) протекающего через человека тока $I_{\text{чел}}$ или напряжения прикосновения $U_{\text{пр}}$ и сравнении эти величин с предельно допустимыми их значениями ($I_{\text{пд}}$ и $U_{\text{пд}}$) в зависимости от продолжительности воздействия тока (таблицы 5.1, 5.2).

Таблица 5.1 – Напряжения $U_{\text{пр}}$ и токи $I_{\text{чел}}$, проходящие через человека при нормальном режиме работы электроустановки

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения (нормальный режим)	
	$U_{\text{пр}}$, В	$I_{\text{чел}}$, мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Примечание – Настоящие нормы соответствуют продолжительности воздействия тока на человека не более 10 мин в сутки. Для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (более 25 °С) и влажности (более 75 %), приведенные нормы должны быть уменьшены в три раза.

Таблица 5.2 – Напряжения $U_{\text{пр}}$ и токи $I_{\text{чел}}$, проходящие через человека при аварийном режиме работы электроустановки

Род и частота тока	Нормируемая величина	Наибольшие допустимые значения при продолжительности воздействия, с											
		от 0,01 до 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	более 1,0
Переменный, 50 Гц	$U_{\text{пр.доп}}$, В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	42
	$I_{\text{чел.доп}}$, мА	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	6
Переменный, 400 Гц	$U_{\text{пр.доп}}$, В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	42
	$I_{\text{чел.доп}}$, мА	650	500	500	330	250	200	170	140	30	110	100	8
Постоянный	$U_{\text{пр.доп}}$, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	50
	$I_{\text{чел.доп}}$, мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	15

В трехфазных сетях величина тока $I_{\text{чел}}$ зависит от напряжения сети, режима нейтрали и состояния изоляции фазных проводов по отношению к земле.

Оценка электропоражения проводится в нормальном и в аварийном режимах работы электроустановки (рисунки 5.3, 5.4), т. е. в режиме, при котором могут возникнуть опасные ситуации, приводящие к электротравмированию людей, взаимодействующих с установкой (например, при замыкании электропитания установки на ее корпус или другие электропроводящие части в результате нарушения изоляции).

Оценка опасности позволяет определить необходимость применения способов и средств защиты, а максимально возможные (или фактические) и предельно допустимые значения тока через тело человека или допустимые напряжения прикосновения (см. таблицы 5.1, 5.2) служат исходными данными для их проектирования и расчета.

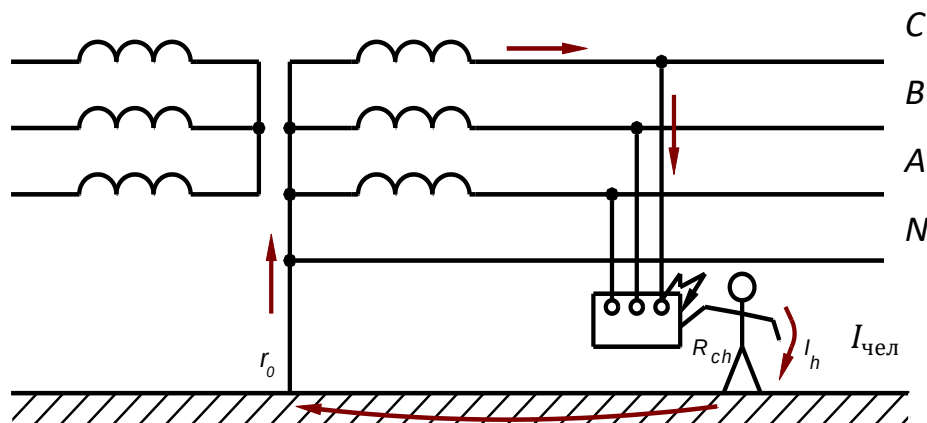


Рисунок 5.3 – Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью, нормальный режим работы сети, аварийный режим работы оборудования

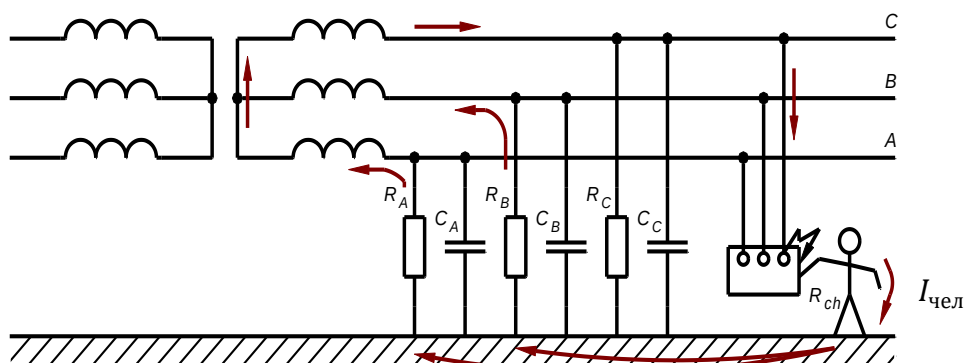


Рисунок 5.4 – Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью, нормальный режим работы сети, аварийный режим работы оборудования

Более безопасной трехфазной сетью в нормальном режиме работы (т. е. при сопротивлении фазных проводов относительно земли не менее 500 кОм) при однофазном прикосновении является трехфазная сеть с изолированной от земли нейтралью, а в аварийном режиме, т. е. при замыкании одной из фаз на землю через сопротивление, значительно меньше требуемого сопротивления изоляции ($r_{зм} \gg Z$), является трехфазная сеть с заземленной нейтралью. Напряжение прикосновения $U_{пр}$ при однофазном прикосновении к исправной фазе равно линейному напряжению сети ($U_{пр} = U_{л}$), а в сети с заземленной нейтралью при тех же условиях – напряжение прикосновения всегда меньше линейного, хотя и больше фазного ($U_{л} > U_{пр} > U_{ф}$).

При выборе схемы трехфазной сети (по количеству проводов) и режима ее нейтрали относительно земли (изолирована либо заземлена) руководствуются двумя требованиями: степенью опасности той или иной сети, а также ее

технологичностью, т. е. удобством эксплуатации потребителем электрической энергии.

С точки зрения безопасности предпочтительнее трехфазная сеть с заземленной нейтралью, так как она менее опасна в аварийном режиме работы, а с точки зрения технологичности – четырехпроводная сеть, так как в этом случае к сети можно подключать как трехфазные, так и однофазные потребители энергии.

Исходя из вышеизложенного, на практике применяются следующие электрические сети:

– *трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью* (обычно в небольших лабораториях и на небольших производственных участках, где используются только трехфазные потребители и когда обеспечивается сопротивление изоляции фазных проводов такой сети по отношению к земле не менее 500 кОм);

– *трехфазная четырехпроводная сеть с заземленной нейтральностью* (практически на всех предприятиях, жилых и общественных помещениях);

– *трехфазная четырехпроводная сеть с изолированной нейтралью* (как исключение – в передвижных установках).

При расчетах $I_{\text{чел}}$ сопротивление изоляции фазных проводов при нормальном режиме работы электрических сетей напряжением до 1000 В принимают равным 500 кОм. В таблице 5.3 показаны сопротивления заземления нейтрали источника тока r_0 в трехфазных сетях.

Таблица 5.3 – Сопротивления заземления нейтрали трансформатора

Напряжение сети, В	Сопротивление заземления нейтрали трансформатора r_0 , Ом
400/690	2
230/400	4

При расчете полного сопротивления в цепи тела человека R_{ch} , которое включает в себя сумму сопротивлений тела человека $R_{\text{чел}}$, обуви $R_{об}$ и основания (пола или грунта), на котором стоит человек $R_{ос}$, сопротивление собственного тела человека следует принимать равным 1 кОм при напряжении прикосновения $U_{пр} \geq 50$ В и 6 кОм при $U_{пр} \leq 50$ В.

Электробезопасность персонала обеспечивается конструкцией электроустановок, организационными и техническими мероприятиями, а также техническими способами, средствами и приспособлениями.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Меры защиты от поражения электрическим током должны быть предусмотрены в электроустановке или ее части либо применены к отдельным электроприемникам и могут быть реализованы при изготовлении электрооборудования либо в процессе монтажа электроустановки, либо в обоих случаях. Применение двух и более мер защиты в электроустановке не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

Защитное заземление. Для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения персонала к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением, наряду с другими мерами защиты в сетях с изолированной нейтралью широко применяется защитное заземление, представляющее собой преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением, с землей посредством заземляющего устройства.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения прикосновения в результате уменьшения потенциала на корпусе заземленного электрооборудования за счет малого сопротивления заземляющего устройства и выравнивания потенциалов на заземленных частях электроустановки и основания, на котором стоит человек, вследствие образования потенциала на основании до значения, близкого к потенциалу заземленных частей оборудования.

Таким образом, напряжение заземленного корпуса относительно земли определяется выражением $U_k = I_3 \cdot r_3$, где I_3 – величина тока, протекающего через заземлитель; r_3 – сопротивление заземлителя.

Образование потенциалов на поверхности земли вокруг заземлителя обусловлено стеканием тока в землю через заземлитель, его растеканием в грунте и

замыканием через сопротивление изоляции на две другие фазы (в трехфазных сетях). Потенциал на поверхности земли (основании) вокруг заземлителя в зависимости от расстояния до него изменяется по гиперболическому закону, уменьшаясь от своего максимального значения на заземлителе практически до нуля.

При прикосновении к поврежденной и заземленной электроустановке человек оказывается под действием напряжения прикосновения $U_{пр}$, которое определяется разностью потенциалов крайних точек электрической цепи через тело человека, обычно «рука-ноги».

Защитное заземление применяется в сетях, изолированных от земли (трехфазные трехпроводные сети с изолированной от земли нейтралью, двухпроводные сети переменного и постоянного тока с изолированными от земли проводами или полюсами).

Для обеспечения электробезопасности сопротивление заземляющего устройства r_3 необходимо поддерживать достаточно малым, не превышающим в сетях напряжение до 1000 В 4 Ом (10 Ом – при мощности сети < 100 кВА). Тогда напряжение прикосновения не превысит допустимого значения 42 В при длительности воздействия более 1 с.

Требуемое значение r_3 можно обеспечить следующими способами:

- путем использования не одного, а нескольких заземлителей, соединенных параллельно;
- правильным выбором расстояния между заземлителями и их взаимным расположением;
- размещением заземляющего устройства в грунтах с достаточно малым значением удельного сопротивления.

Заземление электроустановок следует выполнять в следующих случаях:

- при напряжениях 400 В и выше соответственно переменного и постоянного тока;
- при номинальных напряжениях, равных 42 В и выше переменного, 110 В и выше постоянного токов, в помещениях с повышенной и особой опасностью и в наружных электроустановках;
- во взрывоопасных помещениях при всех величинах напряжений переменного и постоянного токов.

Рабочее (функциональное) заземление – заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения правильной работы электроустановки (не в целях электробезопасности).
Защитное заземление – для безопасности работника.

Заземляющие устройства (заземления) бывают двух типов – выносные и контурные (распределенные) или выполненные в ряд.

Выносные заземления устраиваются при отсутствии возможности разместить заземлитель в пределах защищаемой площадки, высоком сопротивлении грунта на этой территории и наличии на сравнительно небольшом удалении мест с повышенной проводимостью, а также при рассредоточенном размещении заземляемого оборудования.

К достоинству выносных заземлений можно отнести возможность выбора места размещения электродов с наименьшим сопротивлением грунта.

Контурное (распределенное) заземляющее устройство применяется в случаях, когда необходимо выровнять потенциал на защищаемой площадке с возможными потенциалами заземленных частей оборудования и тем самым уменьшить напряжение прикосновения (и напряжение шага) до безопасных значений.

Нулевой защитный проводник – защитный проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Зануление. Для устранения опасности поражения работающих электрическим током при прикосновении к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания фазного провода на корпус в сетях с заземленной нейтралью, наряду с другими мерами, применяется зануление.

Защитное зануление (рисунок 5.5) в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное, электрическое соединение корпусов оборудования и других металлических нетоковедущих его частей, которые могут оказаться под напряжением, с неоднократно заземленным защитным проводником сети. В трехфазных четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью в качестве такого проводника служит заземленная нейтраль сети (нулевой защитный проводник).

Принцип действия зануления основан на превращении замыкания на корпус электроустановки в однофазное короткое замыкание с целью появления большого тока, способного обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную установку от питающей сети. Заземление корпусов электроустановки через нулевой защитный проводник посредством повторного заземления снижает также их напряжение относительно земли до срабатывания защиты и отключения установки от сети.

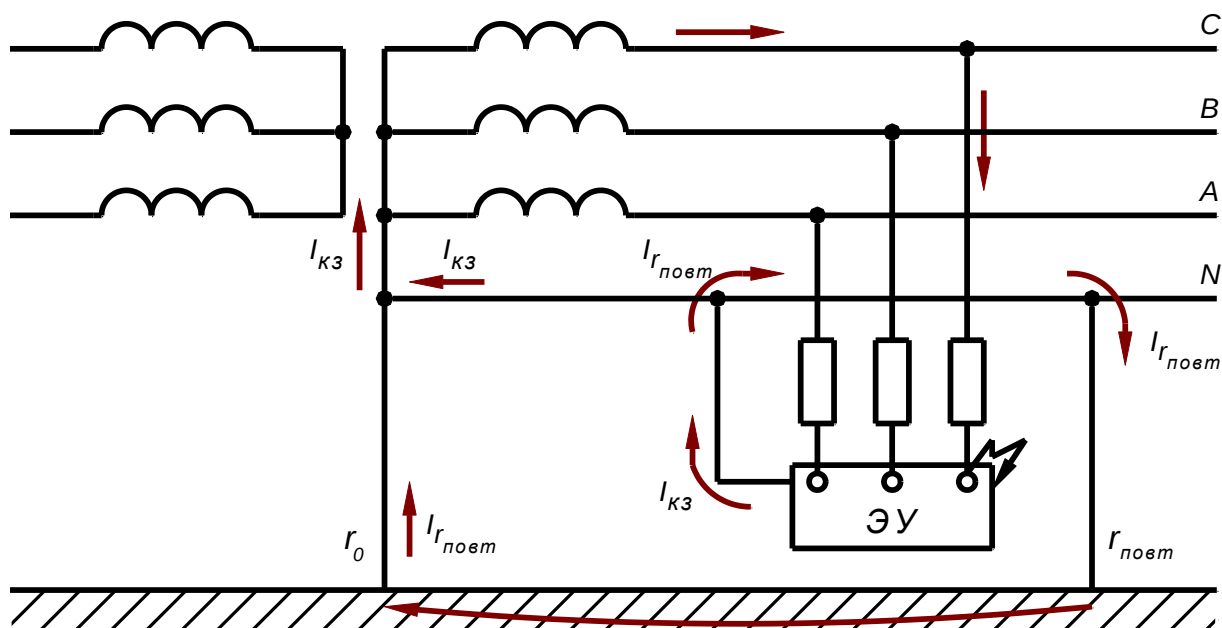


Рисунок 5.5 – Принципиальная схема защитного зануления

В качестве защиты при занулении могут применяться плавкие предохранители, магнитные пускатели с тепловой защитой, автоматы с расцепителями и другие средства, осуществляющие защиту от токов короткого замыкания и перегрузок.

Зануление как защитная мера применяется в трехфазных четырехпроводных сетях с заземленной нейтралью, в двухпроводных сетях переменного тока с заземленным выводом или в сетях постоянного тока при заземленной средней точке источника или полюса.

Назначение нулевого защитного проводника сети состоит в обеспечении необходимого для отключения установки достаточного значения тока короткого замыкания $I_{кз}$ путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением.

Заземление нейтрали (источника напряжения) предназначено для снижения напряжения зануленных корпусов относительно земли в аварийном режиме работы сети, т. е. при замыкании одной из фаз на землю.

Защитное отключение. *Защитное отключение* – это такой вид быстродействующей защиты, который обеспечивает автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения электрическим током (например, при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети ниже определенного значения, при прикосновении человека непосредственно к токоведущим частям, при переходе напряжения с высшей стороны трансформатора на низшую и т. п.).

Поврежденная электроустановка и нарушение нормального режима работы сети приводят к изменениям электрических параметров установки или сети, которые могут быть использованы как входные величины для срабатывания устройств защитного отключения (УЗО). В зависимости от того, что является входной величиной (уставкой), на изменение которой реагирует схема отключения, применяют следующие типы УЗО: на напряжении корпуса относительно земли; на токе замыкания на землю; на токе нулевой последовательности и др.

УЗО должны удовлетворять высокой чувствительности, малому времени отключения, избирательности действия, т. е. способности осуществлять самоконтроль исправности и надежности.

Применение УЗО практически не ограничено, т. е. они могут применяться в сетях любого напряжения постоянного и переменного токов, трехфазных сетях с любым режимом нейтрали. Особенно рациональной мерой защиты защитное отключение является в передвижных электроустановках, в условиях, когда по каким-либо причинам трудно осуществить защитное заземление или зануление, а также при использовании ручного электроинструмента.

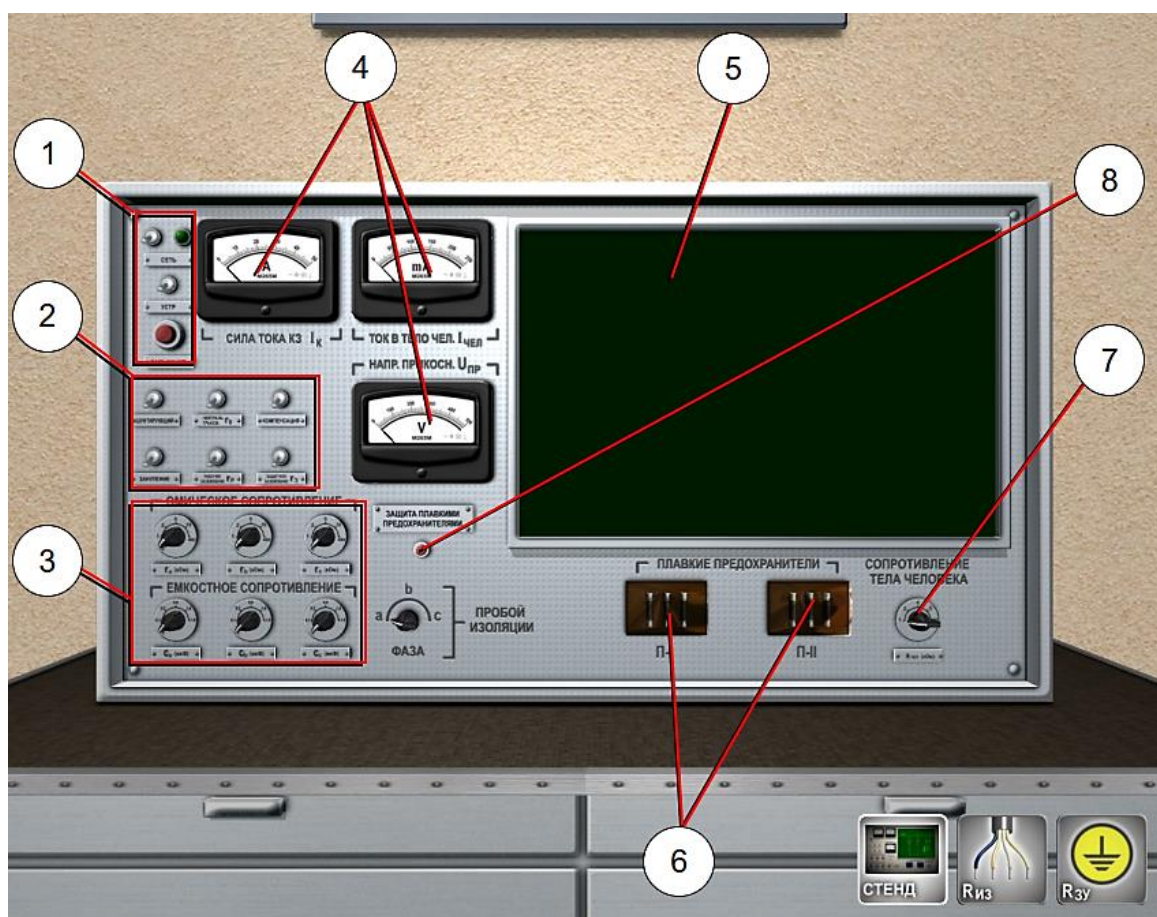
Если величина напряжения короткого замыкания будет равна допустимому значению напряжения прикосновения или превысит его, сработает УЗО, и поврежденная установка отключится от сети. Эта схема УЗО может применяться в сетях любого напряжения как дополнительная мера к защитному заземлению, когда оно малонадежно или недостаточно эффективно.

Достоинством этой схемы является ее простота, а основными недостатками – необходимость вспомогательного заземления, отсутствие селективности отключения при присоединении к одному заземлителю нескольких электроустановок.

Ход выполнения имитационных опытов

На рисунке 5.6 представлено виртуальное пространство лабораторной работы.

В виртуальной лабораторной работе имитируется специально оборудованный стенд, оснащенный измерительными приборами (миллиамперметром, амперметром и вольтметром), мнемопанелью, магазином сопротивлений и тумблерами установки режимов работы. Также в работе имитируются дополнительные измерительные приборы – электронный мегаомметр (для измерения сопротивления изоляции фаз кабелей) и электронный измеритель сопротивления заземляющего устройства.



- 1 – тумблеры включения/выключения и замыкания электрической цепи;
 2 – тумблеры установки режимов работы; 3 – магазин сопротивлений;
 4 – измерительные приборы; 5 – мнемопанель; 6 – плавкие предохранители;
 7 – регулятор моделируемого сопротивления тела человека; 8 – кнопка
 включения в цепь плавких предохранителей

Рисунок 5.6 – Виртуальное пространство лабораторной работы

Переключение между данными экспериментами осуществляется с помощью кнопок, расположенных в правом нижнем углу экрана (рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 – Кнопки переключения экспериментов

Работа с лабораторным стендом. Работа начинается с включения лабораторного стенда в сеть. Для этого приблизьте камеру к лабораторному стенду, наведите указатель на тумблер «Сеть» (тумблер отобразится желтым цветом) и кликните левой кнопкой мыши. Во включенном режиме рядом с тумблером «Сеть» загорится зеленая лампочка-индикатор (рисунок 5.8).

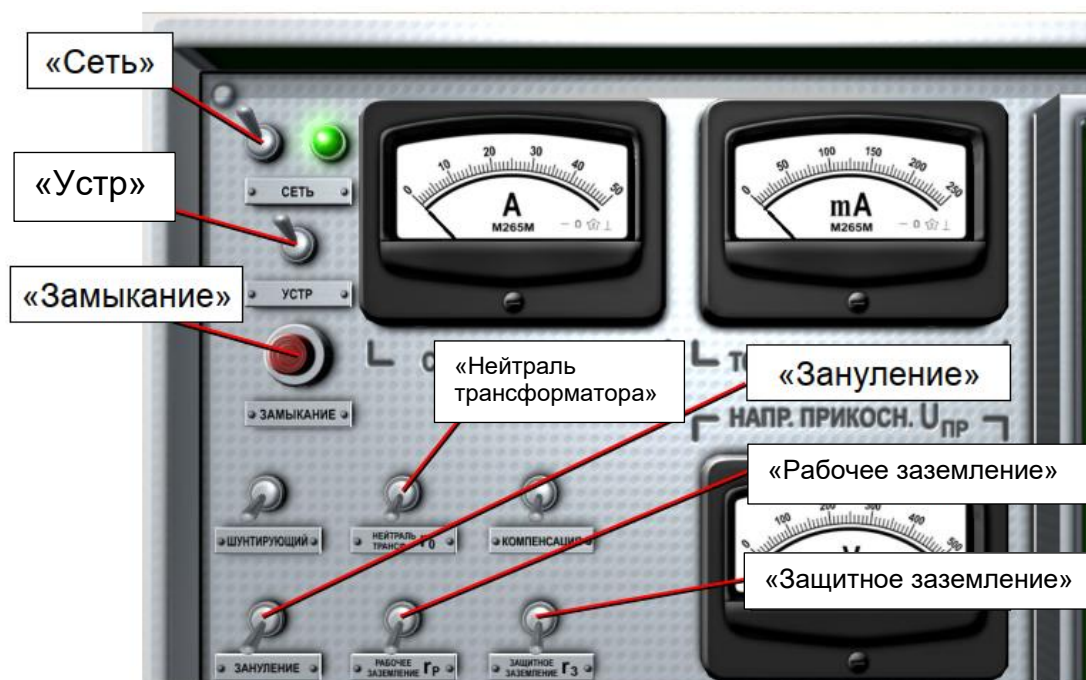


Рисунок 5.8 – Лицевая панель лабораторного стенда

Для установки нужного режима работы стенда (изменения типа электрической цепи и включения/выключения средств защиты) включите тумблер «Устр». После включения тумблера «Устр» на мнемопанели высветится текущая схема электрической цепи (рисунок 5.9).

В данном режиме выведенная схема соответствует трехфазной сети с изолированной нейтралью. Для переключения типа сети наведите указатель мыши на тумблер «Нейтраль трансформатора r_0 » и кликните левой кнопкой мыши, при этом схема, выведенная на дисплей, будет соответствовать трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью (рисунок 5.10). Повторный клик левой кнопкой мыши по тумблеру «Нейтраль трансформатора r_0 » вернет исходную конфигурацию трехфазной сети.

Переключатель « $R_{\text{чел}}$ » (кОм) (рисунок 5.11) в правом нижнем углу лицевой панели стенда позволяет задавать величину сопротивления тела человека. Для установки переключателя в требуемое положение наведите на него указатель и кликните левой кнопкой мыши. Клик правой кнопки мыши по черной рукоятке

приведет к пошаговому переключению сопротивления по часовой стрелке. Если навести указатель на нужное значение на шкале переключателя и кликнуть левой кнопкой мыши, переключатель будет установлен на это значение сразу.

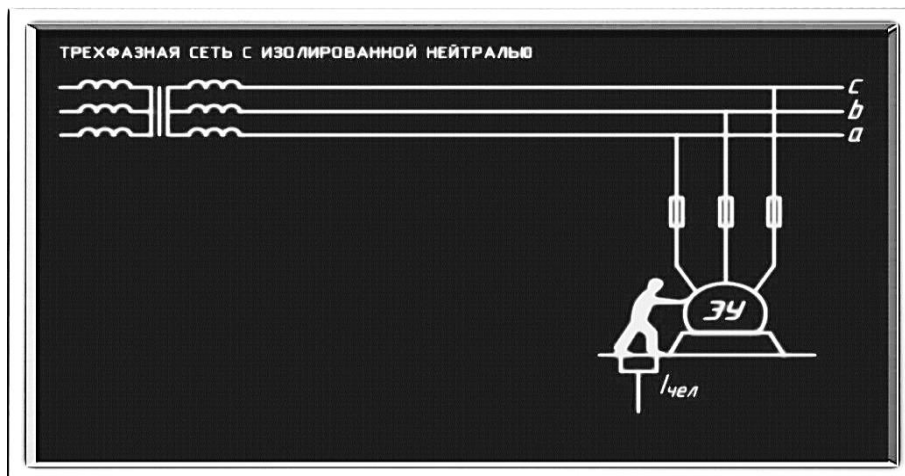


Рисунок 5.9 – Схема электрической цепи после включения тумблера «Устр»



Рисунок 5.10 – Схема электрической цепи после включения тумблера «Нейтраль трансформатора r_0 »



Рисунок 5.11 – Переключатель сопротивления тела человека

В режиме работы с трехфазной сетью с изолированной нейтралью доступны для изменения переключатели магазина сопротивлений (рисунок 5.12).



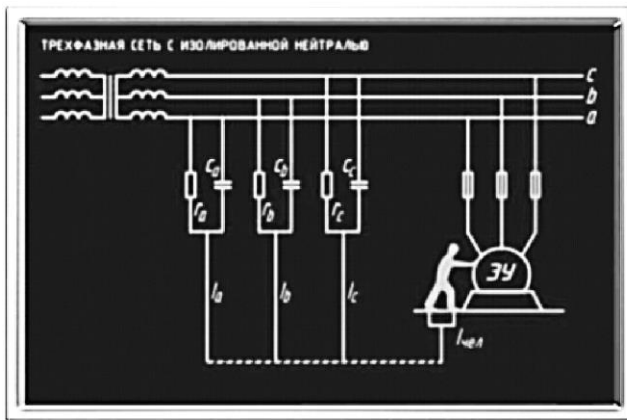
Рисунок 5.12 – Переключатели магазина сопротивлений

Верхний ряд переключателей отвечает за омическую составляющую сопротивления изоляции фаз. Нижний ряд переключателей позволяет изменять емкостное сопротивление изоляции фаз. Вращение рукояток переключателей « r_a », « r_b », « r_c », « C_a », « C_b », « C_c » происходит синхронно. Переключение сопротивлений осуществляется способом, описанным выше.

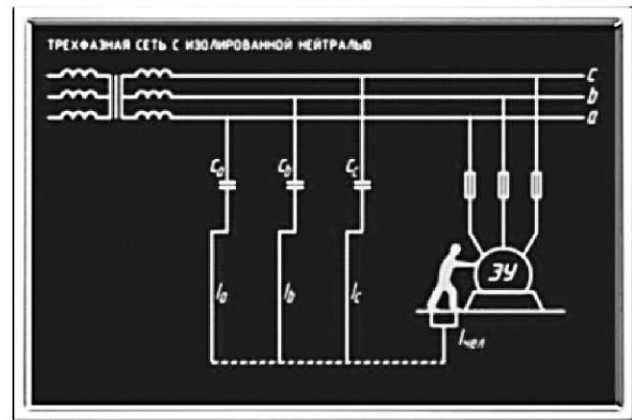
В соответствии с положениями переключателей магазина сопротивлений на схеме электрической цепи отображаются (или скрываются) омические и емкостные сопротивления изоляции фаз (рисунок 5.13).

При работе с трехфазной сетью с изолированной нейтралью средствами защиты служат рабочее или защитное заземление. Включение тумблера «Рабочее заземление r_3 » возможно только при выключенном тумблере «Защитное заземление r_3 » и наоборот, при этом на схеме электрической цепи отображается соответствующее обозначение заземления (рисунок 5.14).

Опасность поражения человека электрическим током исследуется в режиме замыкания цепи, при этом моделируется пробой изоляции одной из фаз (фазы А) на корпус электроустановки. Для перехода в режим замыкания наведите указатель на соответствующую кнопку и кликните левой кнопкой мыши (рисунок 5.15).



a

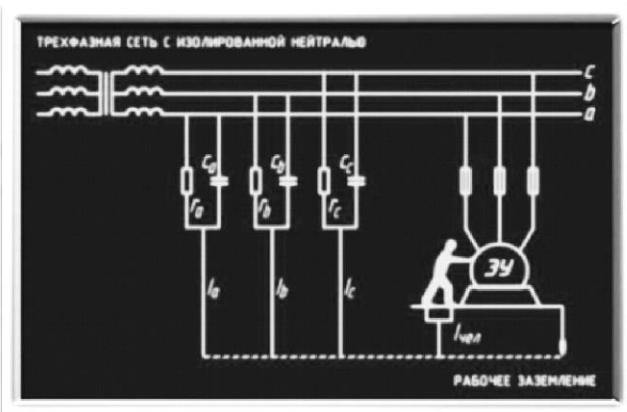


б

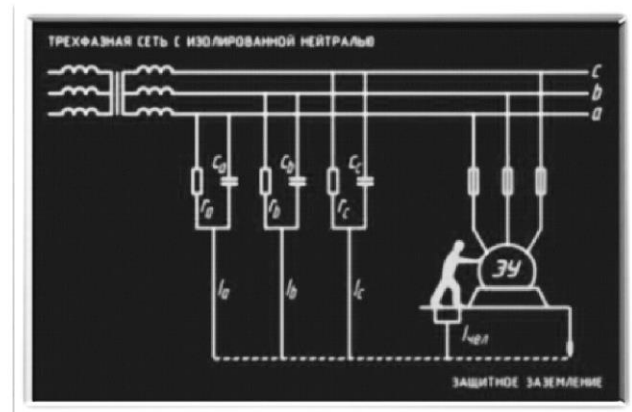
Рисунок 5.13 – Схема трехфазной сети с изолированной нейтралью:

$r_a = r_b = r_c = R > 0$ и $C_a = C_b = C_c = C > 0$ (*a*);

$r_a = r_b = r_c = R = \infty$ и $C_a = C_b = C_c = C > 0$ (*б*)



a

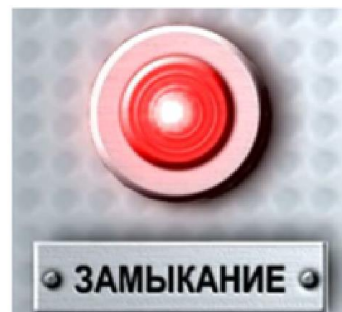


б

Рисунок 5.14 – Схема трехфазной сети с изолированной нейтралью с рабочим (*a*) и защитным (*б*) заземлением



a



б

Рисунок 5.15 – Кнопка «Замыкание» в выключенном (*a*) и включенном (*б*) состояниях

В режиме замыкания на схеме электрической цепи отображается соответствующее обозначение пробоя изоляции по фазе на корпус электроустановки (рисунок 5.16). В данном режиме необходимо зафиксировать показания измерительных приборов.

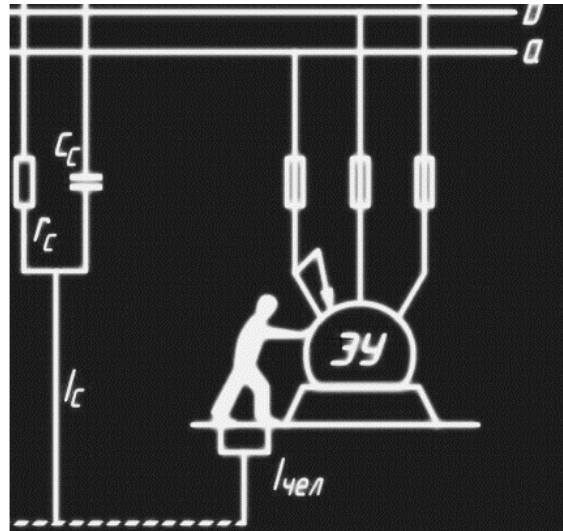
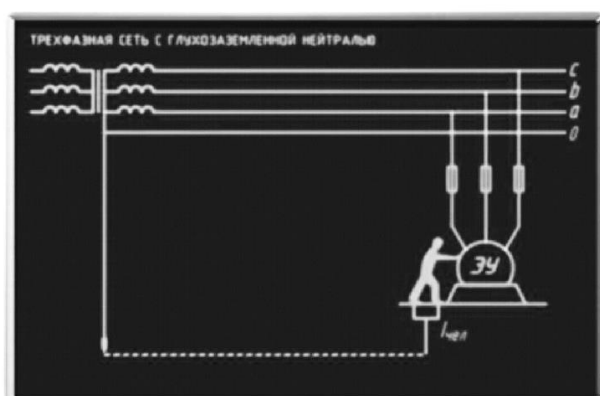
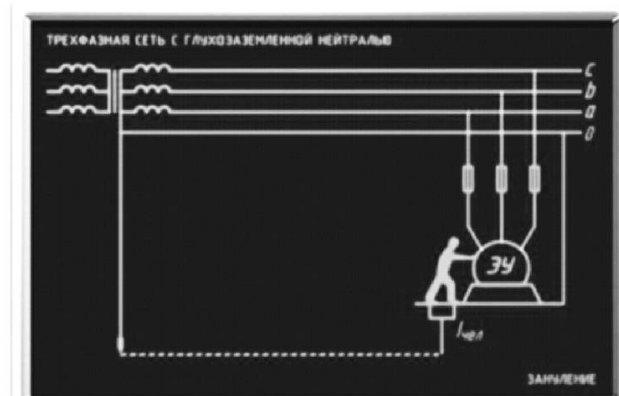


Рисунок 5.16 – Фрагмент схемы электрической цепи в режиме замыкания

В режиме работы с трехфазной сетью с глухозаземленной нейтралью переключатели магазина сопротивлений заблокированы. В качестве средства защиты выступает устройство зануления (рисунок 5.17). Для включения зануления наведите указатель на тумблер «Зануление» и кликните левой кнопкой мыши. Отключение зануления осуществляется тем же способом.



а



б

Рисунок 5.17 – Схема трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью без зануления (*а*) и с занулением (*б*)

При включенном занулении доступна для нажатия кнопка «Защита плавкими предохранителями», имитирующая включение в сеть группы плавких предохранителей (рисунок 5.18). Чтобы визуально зафиксировать сгорание плавких предохранителей в сети зануления электроустановки, кликните по кнопке «Защита плавкими предохранителями», после чего кликните по кнопке «Замыкание».

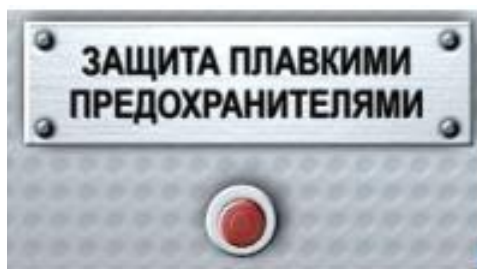


Рисунок 5.18 – Кнопка включения плавких предохранителей

Сгорание плавких предохранителей наблюдается визуально, при этом соответствующие изменения отображаются на схеме электрической цепи (рисунок 5.19). Через определенное время лабораторный стенд автоматически вернется в исходное состояние.

Последовательность действий при работе с имитационной моделью лабораторного стенда строго регламентируется методикой испытаний.

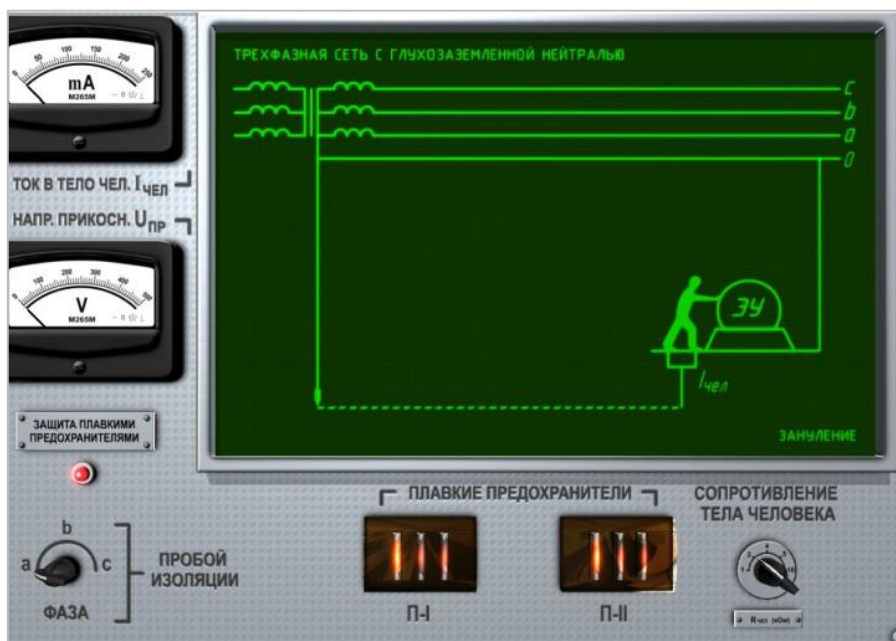


Рисунок 5.19 – Состояние лабораторного стенда в момент сгорания плавких предохранителей

Измерение сопротивления изоляции фаз кабелей. После перехода в режим эксперимента № 2 на экран будет выведено изображение электронного мегаомметра и двух кабелей (рисунок 5.20).

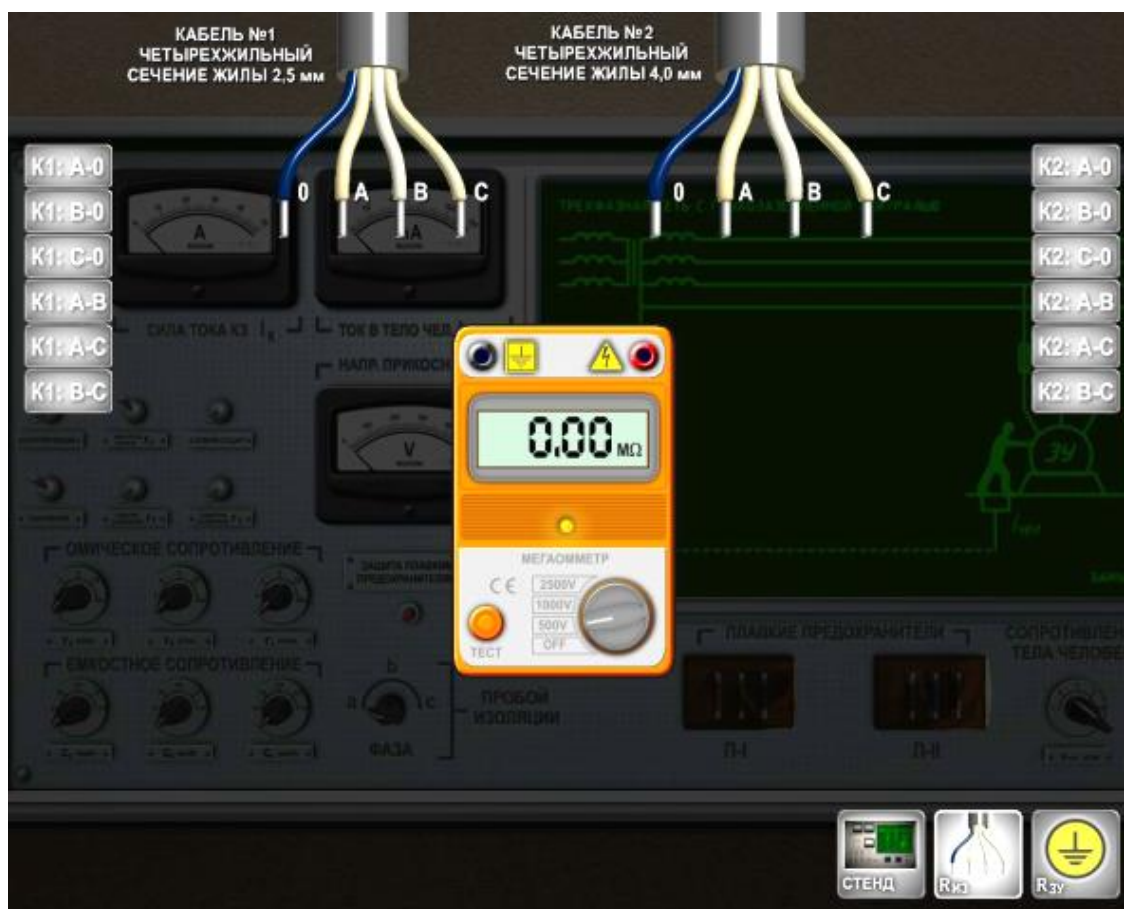


Рисунок 5.20 – Измерение сопротивления изоляции фаз кабелей
(измерительный прибор не подключен)

В верхней части экрана изображены два четырехжильных кабеля, отличающиеся площадью сечения жилы. По краям экрана расположены два ряда кнопок, позволяющих изменять схему подключения мегаомметра. Ряд кнопок, расположенных в левой части экрана, предназначен для работы с кабелем № 1. Ряд кнопок, расположенных в правой части экрана, предназначен для работы с кабелем № 2. Чтобы подключить мегаомметр по нужной схеме, наведите указатель на соответствующую кнопку и кликните левой кнопкой мыши, при этом на экране отобразятся соединительные проводники (рисунок 5.21).

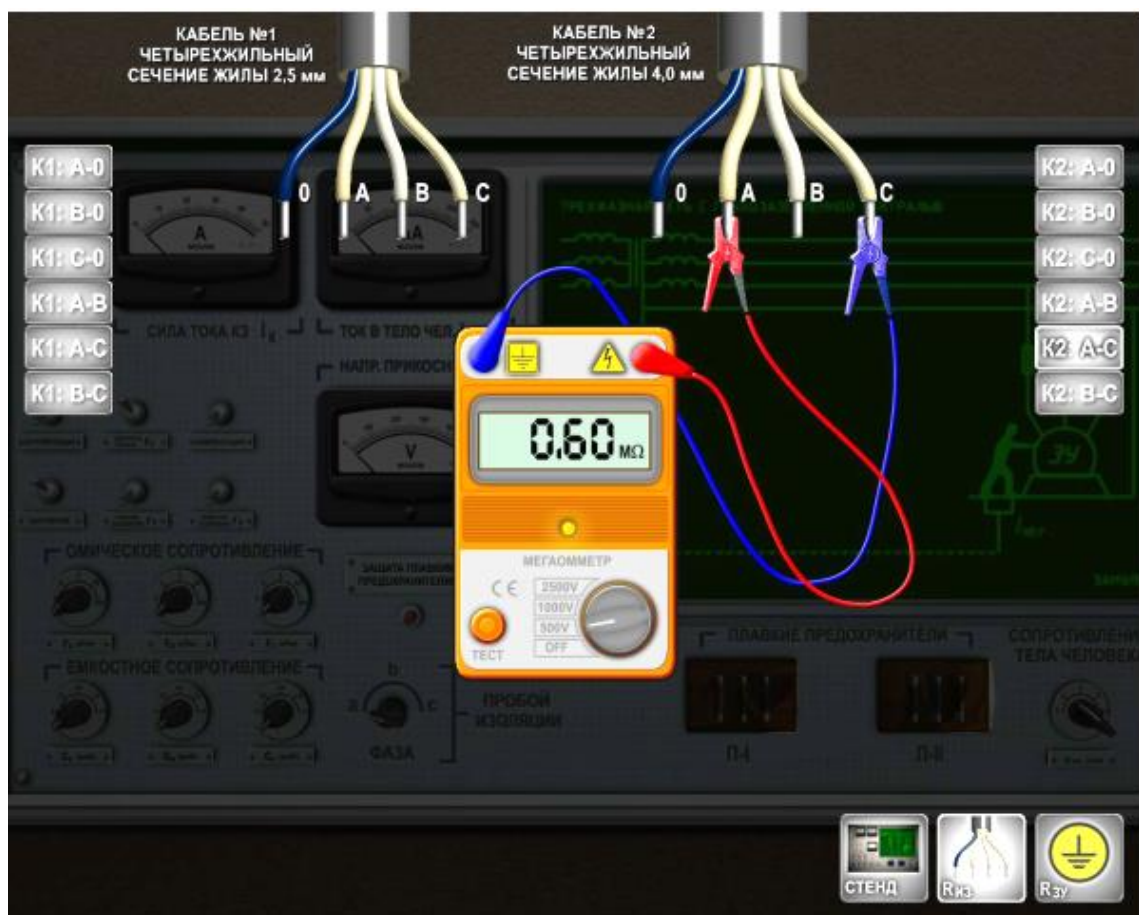


Рисунок 5.21 – Измерение сопротивления изоляции фаз кабелей (прибор подключен к фазам А и С кабеля № 2)

Измерение сопротивления заземляющего устройства. После перехода в режим эксперимента № 3 на экран будет выведено изображение электронного измерителя сопротивления заземления и панели настройки режимов измерения (рисунок 5.22).

На панели настройки режимов измерения изображена схема подключения измерительного прибора, а также расположены пять тумблеров, изменяющих величину удельного сопротивления грунта (Ом·см), что позволяет моделировать различные условия работы заземляющего устройства. Переключение тумблеров осуществляется кликом левой кнопкой мыши по ним.

Для выхода из виртуальной лабораторной работы нажмите клавишу «ESC».

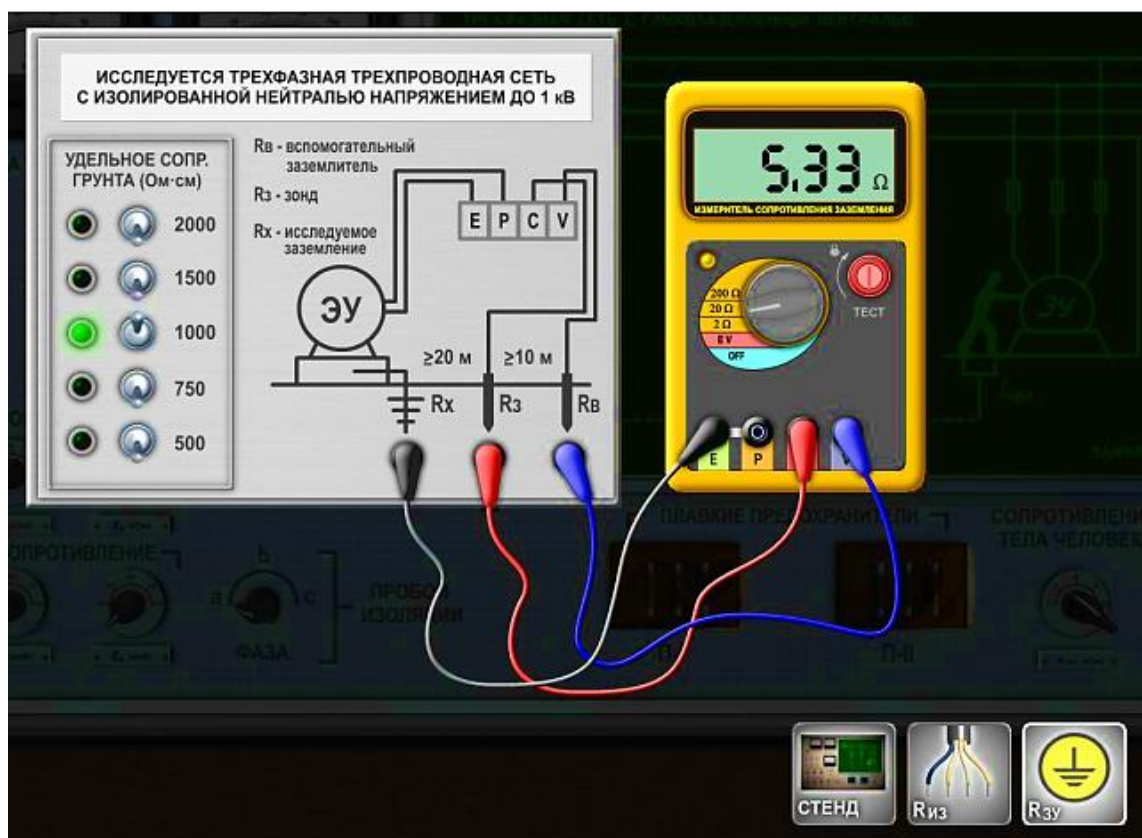


Рисунок 5.22 – Измерение сопротивления заземляющего устройства

Содержание отчета

- 1 Титульный лист.
- 2 Протокол отчета.

Контрольные вопросы

- 1 Какие факторы влияют на опасность поражения человека электрическим током?
- 2 Какие типы трехфазных сетей преимущественно применяются на производстве, в общественных и жилых зданиях?
- 3 Как влияет на опасность электропоражения замыкание фазного проводника на землю в сетях с различным режимом нейтрали?
- 4 Какие основные технические способы и средства используются в электроустановках для обеспечения электробезопасности?
- 5 Какая трехфазная сеть более безопасна в нормальном и аварийном режимах работы и почему?
- 6 В чем заключается принцип работы зануления и в каких сетях оно применяется?

7 В чем заключается принцип действия защитного отключения, какова область его применения?

8 Каковы преимущества УЗО перед другими техническими способами обеспечения электробезопасности?

Список использованных источников

1 Михнюк, Т. Ф. Электробезопасность : учеб. пособие к практ. занятиям по курсу «Охрана труда» для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР / Т. Ф. Михнюк. – Минск : БГУИР, 2004. – 76 с.

2 Правила устройства электроустановок. – Введ. 2003–01–01. – 7-е изд. – М. : ЗАО «Энергосервис», 2007. – 280 с.

3 Краткое руководство пользователя // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_user_manual.pdf.

4 Краткое руководство администратора // SUNSPIRE Виртуальные лаборатории и технические симуляторы. – URL: https://sunspire.site/ru/files/bjd_admin_manual.pdf.

ПРОТОКОЛ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5

«Исследование электробезопасности электроустановок напряжением до 1000 В»

Состав бригады:

Группа _____

ФИО _____

ФИО _____

Индивидуальное задание:

1 Исследовать влияние параметров трехфазной трехпроводной сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью на величину тока, протекающего через тело человека, прикоснувшегося к корпусу поврежденной электроустановки.

2 Исследовать сопротивление изоляции кабелей разной площади сечений с использованием мегаомметра.

3 Исследовать сопротивление заземляющего устройства при изменяющихся величинах удельного сопротивления грунта в трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В.

4 Исследовать эффективность мер защиты от поражения электрическим током при прикосновении к электроустановке в случае повреждения изоляции.

5 Сделать выводы.



Имитационный опыт № 1. Исследовать влияние параметров трехфазной трехпроводной сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью на величину тока, протекающего через тело человека, прикоснувшегося к корпусу поврежденной электроустановки.

Результаты исследования внести в таблицу 5.4.

Включить тумблер «Сеть», затем тумблеры «Устр» и «Замыкание». Изменяя омическое сопротивление, измерить напряжение прикосновения и величину тока, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к корпусу поврежденной электроустановки.

Проанализировать полученные результаты.

На основании данных установить зависимости $I_{\text{чел}} = f(R)$, $U_{\text{пр}} = f(R)$ при $R_a = R_b = R_c = R$ и $C = 0$ и построить графики.

Предельно допустимые значения: для $I_{\text{пд,чел}} = \underline{\hspace{2cm}}$ мА, $U_{\text{пд,пр}} = \underline{\hspace{2cm}}$ В.

Таблица 5.4 – Результаты измерений

№ п/п	R , кОм	$I_{\text{чел}}$, мА	$U_{\text{пр}}$, В	Выводы (опасно / не опасно)
1	0			
2	1			
3	2			
4	5			
5	10			
6	400			



Вывод: _____



Имитационный опыт № 2. Исследовать сопротивление изоляции четырехжильного кабеля с площадью сечения жилы 2,5 и 4 мм с использованием мегомметра.

Результаты исследования внести в таблицы 5.5, 5.6.

Перейти в режим эксперимента № 2 (см. рисунок 5.7), переключить на кнопку «Сопротивление изоляции фаз» (см. рисунки 5.20, 5.21). Выполнить измерения и внести в таблицы 5.5 и 5.6.

Таблица 5.5 – Результаты исследования сопротивления изоляции четырехжильного кабеля с площадью сечения жилы 2,5 мм

№ п/п	Место и условия измерения R изоляции при откл. ЭУ и сети	R изол. факт., МОм	R изол. треб., МОм	Выводы (норма / ниже нормы)
1	Фаза А относительно земли		$\geq 0,5$	
2	Фаза В относительно земли		$\geq 0,5$	
3	Фаза С относительно земли		$\geq 0,5$	
4	Межфазное А-В		$\geq 0,5$	
5	Межфазное А-С		$\geq 0,5$	
6	Межфазное В-С		$\geq 0,5$	

Таблица 5.6 – Результаты исследования сопротивления изоляции четырехжильного кабеля с площадью сечения жилы 4 мм

№ п/п	Место и условия измерения R изоляции при откл. ЭУ и сети	R изол. факт., МОм	R изол. треб., МОм	Выводы (норма / ниже нормы)
1	Фаза А относительно земли		$\geq 0,5$	
2	Фаза В относительно земли		$\geq 0,5$	
3	Фаза С относительно земли		$\geq 0,5$	
4	Межфазное А-В		$\geq 0,5$	
5	Межфазное А-С		$\geq 0,5$	
6	Межфазное В-С		$\geq 0,5$	

Вывод: _____



Имитационный опыт № 3. Исследовать сопротивление заземляющего устройства при изменяющихся величинах удельного сопротивления грунта в трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В.

Результаты исследования внести в таблицу 5.7.

Перейти в режим эксперимента № 3 (см. рисунок 5.7), переключить на кнопку «Сопротивление заземления» (см. рисунок 5.22). Заполнить таблицу 5.7.

Таблица 5.7 – Результаты исследования

№ п/п	Удельное сопротивление грунта, Ом·см	R исследуемого заземления, Ом	R нормативная заземления, Ом	Вывод (соотв. норме / не соотв. норме)
1	2000		не более 18 Ом	
2	1500		не более 18 Ом	
3	1000		не более 12 Ом	
4	750		не более 12 Ом	
5	500		не более 9 Ом	

Вывод: _____



Имитационный опыт № 4. Исследовать эффективность мер защиты от поражения электрическим током при прикосновении к электроустановке в случае повреждения изоляции.

Аварийный режим работы сети (замыкание). Сопротивление тела человека принять равным 4 кОм.

Результаты внести в таблицу 5.8.

Перейти в режим эксперимента № 4 (см. рисунок 5.7), переключить на кнопку «Работа со стендом». На лицевой панели лабораторного стенда (см. рисунок 5.8) собрать режимы сети по таблице 5.8. Измерить напряжение прикосновения и величину тока, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к корпусу поврежденной электроустановки. Полученные данные сравнить с предельно допустимыми значениями (см. таблицы 5.1, 5.2). Оформить таблицу 5.8.

Таблица 5.8 – Результаты исследования

№ п/п	Режим сети	$I_{\text{чел}}$, мА	$U_{\text{пр}}$, В	Выводы (опасно / не опасно)
1	Трехфазная сеть с изолированной нейтралью			
2	Трехфазная сеть с изолированной нейтралью. Рабочее заземление			
3	Трехфазная сеть с изолированной нейтралью. Защитное заземление			
4	Трехфазная сеть с глухозаземленной нейтралью			
5	Трехфазная сеть с глухозаземленной нейтралью. Зануление			
6	Трехфазная сеть с глухозаземленной нейтралью. Зануление. Плавкие предохранители			

Выводы по работе: _____

Учебное издание

Щербина Наталья Витальевна

**ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

ПОСОБИЕ

Редактор А. Ю. Шурко

Компьютерная правка, оригинал-макет А. А. Луцикова

Подписано в печать 10.06.2026. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 8,25. Уч.-изд. л. 8,5. Тираж 50 экз. Заказ 19.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.
Ул. П. Бровки, 6, 220013, г. Минск