

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

ПРАКТИКУМ

**по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины
и технология обработки материалов давлением»
и 1-42 01 01 «Металлургическое производство
и материалобработка (по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2022

УДК 628.5:669(075.8)
ББК 38.91я73
О-75

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 07.12.2021 г.)*

Составитель *Л. Н. Русая*

Рецензент: декан машиностр. фак. ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Г. В. Петришин*

О-75 **Основы** эколого-энергетической устойчивости производства : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» и 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» днев. и заоч. форм обучения / сост. Л. Н. Русая. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 63 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-507-7.

Представлены лабораторные работы, способствующие закреплению знаний в области экологии и энергосбережения.

Для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» и 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» дневной и заочной форм обучения.

УДК 628.5:669(075.8)
ББК 38.91я73

ISBN 978-985-535-507-7

© Русая Л. Н., составление, 2022
© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2022

Лабораторная работа № 1

Прямое преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую

Цель работы: изучение принципа преобразования солнечной энергии в электрическую; исследование основных технических характеристик солнечного модуля.

Общие сведения

Солнце является основным источником энергии, обеспечивающим существование жизни на Земле. Вследствие реакций ядерного синтеза в активном ядре Солнца достигаются температуры до 10^7 К.

При этом поверхность Солнца имеет температуру около 6000 К. Электромагнитным излучением солнечная энергия передается в космическом пространстве и достигает поверхности Земли. Вся поверхность Земли получает от Солнца мощность около $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт. Это эквивалентно тому, что менее одного часа получения этой энергии достаточно, чтобы удовлетворить энергетические нужды всего населения земного шара в течение года. Максимальная плотность потока солнечного излучения, приходящего на Землю, составляет примерно 1 кВт/м^2 . Для населенных районов в зависимости от места, времени суток и погоды потоки солнечной энергии меняются от 3 до 30 МДж/м^2 в день.

В среднем для создания комфортных условий жизни требуется примерно 2 кВт энергетической мощности на человека или примерно 170 МДж энергии в день. Если принять эффективность преобразования солнечной энергии в удобную для потребления форму 10 % и поток солнечной энергии – 17 МДж/м^2 в день, то требуемую для одного человека энергию можно получить со 100 м^2 площади земной поверхности. При средней плотности населения в городах – 500 человек на 1 км^2 , на одного человека приходится 2000 м^2 земной поверхности. Таким образом, достаточно всего 5 % этой площади, чтобы за счет снимаемой с нее солнечной энергии удовлетворить энергетические потребности человека.

Для характеристики солнечного излучения используются следующие основные величины.

Поток излучения – величина, равная энергии, переносимой электромагнитными волнами за одну секунду через произвольную поверхность. Единица измерения – $\text{Дж/с} = \text{Вт}$.

Плотность потока излучения (энергетическая освещенность) – величина, равная отношению потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Единица измерения – Вт/м².

Световым потоком называется поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. Человеческий глаз неодинаково чувствителен к потокам света с различными длинами волн. Обычно при дневном освещении глаз наиболее чувствителен к свету с длиной волны 555 нм. Поэтому одинаковые по мощности потоки излучения, но разных длин волн вызывают разные световые ощущения у человека. Единицей измерения светового потока с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен $4,6 \cdot 10^{-3}$ Вт (или $1 \text{ Вт} = 217 \text{ лм}$).

Освещенность – величина, равная отношению светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Освещенность измеряется в люксах (лк): $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$. Для белого света $1 \text{ лк} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$ (или $1 \text{ Вт/м}^2 = 217 \text{ лк}$).

Приборы, предназначенные для измерения освещенности, называются **люксметрами**.

В связи с большим потенциалом солнечной энергии чрезвычайно заманчивым является максимально возможное ее непосредственное использование для нужд людей.

При этом самым оптимальным представляется прямое преобразование солнечной энергии в наиболее распространенную в использовании электрическую энергию.

Это становится возможным при использовании такого физического явления, как фотоэффект.

Фотоэффектом называется явление, связанное с освобождением электронов твердого тела (или жидкости) под действием электромагнитного излучения. Различают три вида фотоэффекта: внешний, внутренний и вентильный. Внешний фотоэффект заключается в испускании электронов с поверхности вещества, на которую падает свет. Внутренний фотоэффект связан с увеличением электрической проводимости вещества под действием света. Вентильный фотоэффект – возбуждение светом ЭДС на границе между металлом и полупроводником или между разнородными полупроводниками.

Наиболее распространенным полупроводником, используемым для создания солнечных элементов, является кремний.

Солнечные элементы характеризуются коэффициентом преобразования солнечной энергии в электрическую, который представляет собой отношение падающего на элемент потока излучения к максимальной мощности вырабатываемой им электрической энергии. Кремниевые солнечные элементы имеют коэффициент преобразования 10–15 %.

Типичная структура солнечного элемента с *p-n*-переходом изображена на рис. 1.1: 1 – слой полупроводника (толщиной 0,2–1,0 мкм) с *n*-проводимостью; 2 – слой полупроводника (толщиной 250–400 мкм) с *p*-проводимостью; 3 – добавочный потенциальный барьер (толщиной 0,2 мкм); 4 – металлический контакт с тыльной стороны; 5 – соединительный проводник с лицевой поверхностью предыдущего элемента; 6 – противоотражательное покрытие; 7 – лицевой контакт; 8 – соединительный проводник к тыльному контакту следующего элемента. Характерный размер солнечного элемента – 10 см.

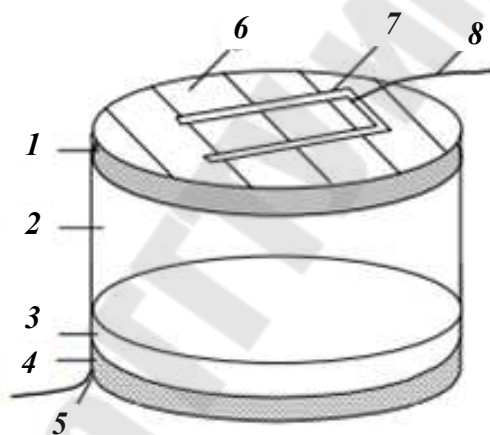


Рис. 1.1. Структура солнечного элемента

Солнечные элементы последовательно соединяются в солнечные модули, которые, в свою очередь, параллельно соединяются в солнечные батареи, как изображено на рис. 1.2.

В 1958 г. впервые солнечные батареи были использованы в США для энергообеспечения искусственного спутника Земли «Vanguard 1». В последующем они стали неотъемлемой частью космических аппаратов.

Широко известны микрокалькуляторы, часы, радиоприемники и многие другие электронные аппараты, работающие на солнечных батареях.

Мировая продажа солнечных модулей составила по суммарной мощности 25 МВт в 1986 г. и около 60 МВт – в 1991 г.

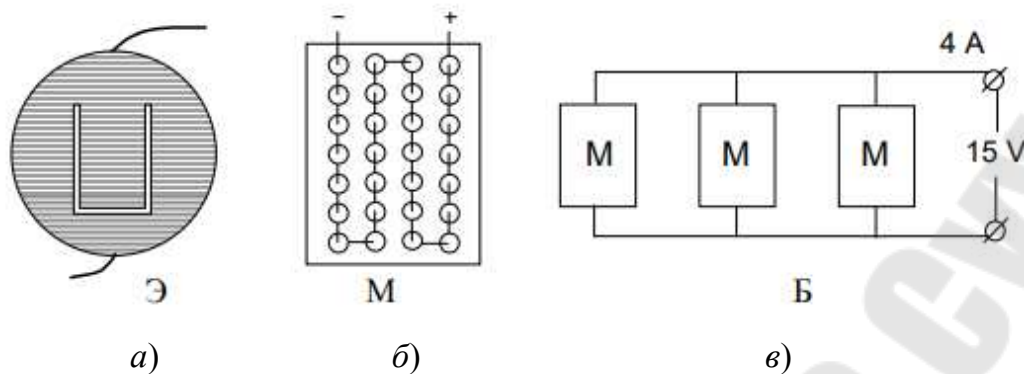


Рис. 1.2. Солнечный элемент Э (а); солнечный модуль М (б); солнечная батарея Б (в)

Полная стоимость солнечных элементов с 1974 по 1984 г. упала примерно со 100 до 4 долл. США на 1 Вт максимальной мощности. Предполагается снижение этой величины до 0,8 долл. США. Однако даже при полной стоимости солнечных элементов – 4 долл. США на 1 Вт плюс стоимость вспомогательной аппаратуры – 2 долл. США на 1 Вт при облученности местности в 20 МДж/м^2 в день и долговечности солнечных батарей (20 лет) стоимость вырабатываемой ими электроэнергии составляет примерно 16 центов США за $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ (4,4 цента за МДж). Это вполне конкурентоспособно электроэнергии, вырабатываемой дизельными генераторами, особенно в отдаленных районах, где стоимость доставки топлива и обслуживания резко возрастает. Ожидается, что в ближайшие несколько лет солнечные батареи будут широко использоваться развивающимися странами в сельских местностях в осветительных системах и системах водоснабжения.

Основные компоненты солнечной энергетической установки изображены на рис. 1.3: Б – солнечная батарея с приборами контроля и управления; А – аккумуляторная батарея; И – инвертор для преобразования постоянного тока солнечной батареи в переменный ток промышленных параметров, потребляемый большинством электрических устройств.

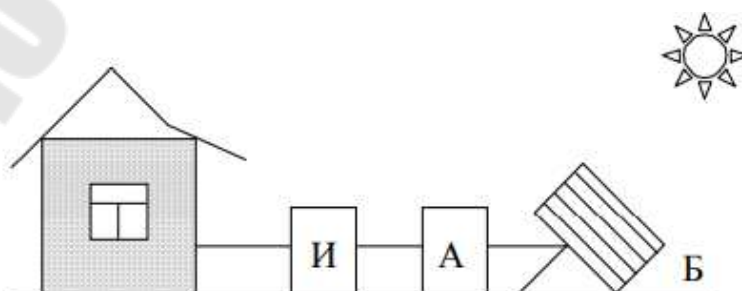


Рис. 1.3. Солнечная энергетическая установка

Несмотря на неравномерность суточного потока солнечного излучения и его отсутствие в ночное время, аккумуляторная батарея, накапливая вырабатываемое солнечной батареей электричество, позволяет обеспечить непрерывную работу солнечной энергетической установки.

Экспериментальная установка (рис. 1.4): 1 – солнечный модуль, состоящий из 36-ти (9×4) солнечных элементов; 2 – амперметр и 3 – вольтметр для определения напряжения и силы тока, вырабатываемых солнечным модулем; 4 – источник света, имитирующий солнечное излучение; 5 – люксометр для определения освещенности поверхности солнечного модуля; 6 – реостат, представляющий собой регулируемую нагрузку в электрической цепи.

Экспериментальная установка

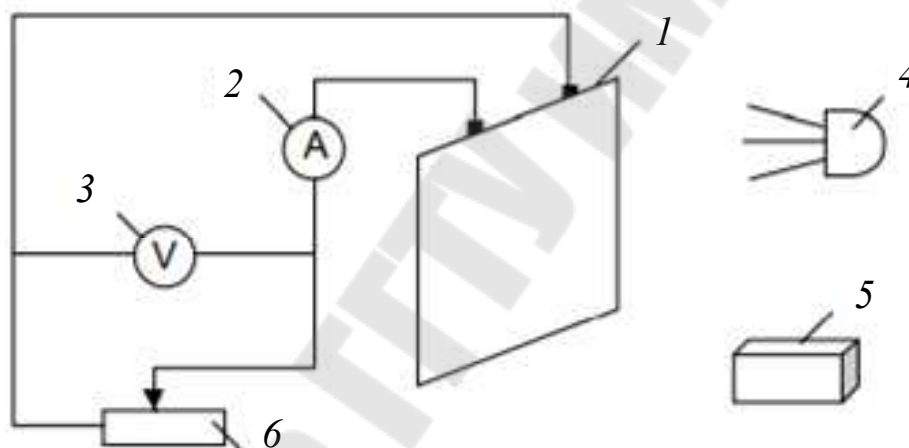


Рис. 1.4. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

Лабораторную работу необходимо выполнять в следующем порядке:

I. *Определение световой характеристики солнечного модуля.*

1. Осуществляются последовательные действия:

- устанавливается источник света на прямое излучение на поверхность солнечного модуля;
- люксометром производится измерение освещенности $E_{\text{ср}}$ солнечного модуля;
- по показаниям вольтметра определяется электродвижущая сила (ЭДС), вырабатываемая солнечным элементом;

– проделываются аналогичные измерения при косом падении излучения на поверхность модуля, поворачивая источник света на 10, 20, 30, 40, 50°.

2. Исходные данные, необходимые для расчета световой характеристики солнечного модуля, приведены в табл. 1.2.

3. Вычислить плотность потока излучения W (энергетическую освещенность), используя соотношения между лк и Вт/м для белого света: $W = 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot E_{\text{ср}}$.

4. Вычислить ЭДС, вырабатываемую одним солнечным элементом ЭДС-1, разделив ЭДС на число элементов, входящих в него.

5. Все результаты занести в табл. 1.1.

6. Построить график зависимости ЭДС солнечного модуля от плотности потока излучения W , падающего на его поверхность.

Таблица 1.1

Результаты измерений и вычислений

Угол падения излучения, град	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	W , Вт/м ²	ЭДС-1, В
0				
10				
20				
30				
40				
50				

Таблица 1.2

Исходные данные

Угол падения излучения, град	Варианты задания									
	I		II		III		IV		V	
	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В	$E_{\text{ср}}$, лк	ЭДС, В
0	2960	17,3	2660	17,0	2360	16,8	2160	16,0	1960	15,8
10	2860	16,5	2580	16,2	2280	16,0	2080	15,2	1880	15,0
20	2770	15,7	2480	15,6	2180	15,4	1980	14,6	1780	14,4
30	2710	15,7	2420	15,4	2120	15,2	1920	14,4	1720	14,2
40	2650	15,5	2360	15,2	2060	15,0	1860	14,2	1660	14,0
50	2570	15,2	2280	15,0	1980	14,8	1780	14,0	1580	13,8

II. *Определение вольт-амперной характеристики солнечного модуля:*

1. Для определения вольтамперной характеристики солнечного модуля к цепи модуля подключается нагрузочный резистор b . С помощью реостата перемещая его подвижный контакт, изменяется сопротивление нагрузки в цепи и производится измерение напряжения U на солнечном модуле вольтметром 3 и тока I , протекающего по цепи, амперметром 2.

Источник света устанавливается на прямое излучение на поверхность солнечного модуля.

С ростом нагрузки увеличивается величина тока и уменьшается напряжение, вырабатываемое модулем.

2. Исходные данные для расчета вольт-амперной характеристики солнечного модуля приведены в табл. 1.4.

3. Для каждого измерения вычислить электрическую мощность в цепи: $N = IU$.

4. Все данные занести в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Результаты измерений и вычислений

Плотность потока излучения Вт/м ²	Номер измерения	Напряжение U , В	Ток I , А	Мощность N , Вт
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

Таблица 1.4

Исходные данные

Номер измерения	Варианты задания									
	I		II		III		IV		V	
	U , В	I , А	U , В	I , А	U , В	I , А	U , В	I , А	U , В	I , А
1	1,5	0,178	2,5	0,170	2,0	0,174	1,0	0,182	3,0	0,168
2	4,0	0,162	5,0	0,155	4,5	0,160	3,0	0,168	6,0	0,150
3	7,5	0,142	7,5	0,137	7,0	0,140	5,0	0,150	9,0	0,127
4	9,0	0,125	10,0	0,120	9,5	0,120	7,0	0,140	11,5	0,105
5	11,0	0,110	12,5	0,095	12,0	0,100	9,0	0,125	13,5	0,085
6	13,0	0,090	15,0	0,065	14,5	0,080	11,0	0,110	15,5	0,060

5. Построить вольт-амперную характеристику (график зависимости I от U) солнечного модуля при данной плотности потока излучения, значение которой взять из предыдущей серии измерений.

6. Отметить наибольшее значение мощности, вырабатываемой солнечным модулем.

7. Определить коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую: $K_{\text{ф}} = W/N$.

Лабораторная работа № 2

Изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию

Цель работы: изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию и устройства ветроколеса; определение коэффициента мощности ветроэнергетической установки.

Общие сведения

Ветер представляет собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температуры в атмосфере из-за неравномерного нагрева ее Солнцем. Таким образом, энергия ветра является преобразованной в механическую энергией Солнца. Устройства, преобразующие энергию ветра в полезную механическую, электрическую или тепловую энергии, называются ветроэнергетическими установками (ВЭУ). Энергия ветра в механических установках, например, на мельницах и в водяных насосах, используется уже несколько столетий. После резкого скачка цен на нефть в 1973 г. интерес к таким установкам резко возрос. Большая часть существующих ветроустановок построена в конце 70-х – начале 80-х гг. на современном техническом уровне при широком использовании последних достижений аэродинамики, механики, микроэлектроники для контроля и управления ими. Белорусская энергетическая программа основными направлениями использования ветроэнергетических ресурсов на ближайший период предусматривает их применение для привода насосных установок и в качестве источников энергии для электродвигателей автономного обеспечения. Эти области применения характеризуются минимальными требованиями к качеству электрической энергии, что позволяет резко упростить и удешевить ветроэнергети-

ческие установки. При правильной организации использования ветроэнергетики такой дешевый и неиссякаемый источник энергии, как ветер, может удовлетворить большую часть потребностей в любой отрасли народного хозяйства. Установки, преобразующие энергию ветра в электрическую, тепловую и механическую, могут обеспечить:

1) автономное энергоснабжение различных локальных объектов (оросительные системы, механизмы животноводческих ферм, вентиляция, устройства микроклимата и т. п.);

2) горячее водоснабжение, отопление, энергообеспечение холодильных агрегатов;

3) подъем воды для садовых участков, на пастбищах и т. п.;

4) откачка воды из систем вертикального и горизонтального дренажа и прочих систем.

По сравнению с другими видами источников энергии ветроэнергетические установки имеют следующие преимущества:

1) отсутствие затрат на добычу и транспортировку топлива;

2) снижение более чем в 10 раз трудозатрат на сооружение ветроэнергетической установки по сравнению со строительством тепловых или атомных станций;

3) широкий технологический диапазон прямого использования энергии ветроустановок (автономность или совместная работа с централизованными сетями, совместимость с другими источниками возобновляемой энергии и т. п.);

4) минимальные сроки ввода мощностей в эксплуатацию;

5) улучшение экологической обстановки за счет снижения уровня загрязнения окружающей среды.

Принцип действия и классификация ветроэнергетических установок

В ветроэнергетических установках энергия ветра преобразуется в механическую энергию их рабочих органов. Первичным и основным рабочим органом ВЭУ, непосредственно принимающим на себя энергию ветра и, как правило, преобразующим ее в кинетическую энергию своего вращения, является ветроколесо. Вращение ветроколеса под действием ветра обуславливается тем, что в принципе на любое тело, обтекаемое потоком газа со скоростью v_0 , действует сила F , которую можно разложить на две составляющие: одну – вдоль скорости набегающего потока, называемую силой лобового сопротивления F_c ,

и другую – в направлении, перпендикулярном скорости набегающего потока, называемую подъемной силой F_{Π} (рис. 2.1). Величины этих сил зависят от формы тела, ориентации его в потоке газа и от скорости газа. Действием этих сил рабочий орган ветроустановки (ветроколесо) приводится во вращение.

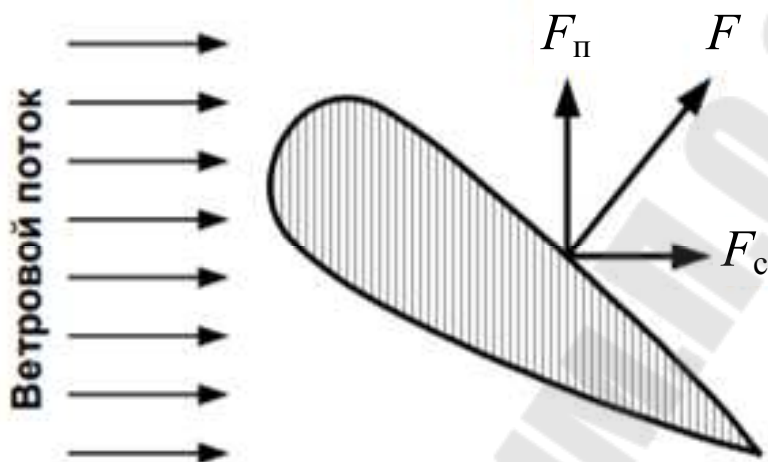


Рис. 2.1. Силы, действующие на тело, обтекаемое потоком газа

Ветроустановки классифицируются по двум основным признакам: геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра.

Если ось вращения ветроколеса параллельна воздушному потоку, то установка называется горизонтально-осевой, если перпендикулярна – вертикально-осевой.

Ветроколеса с горизонтальной осью вращения, использующие подъемную силу (двух- или трехлопастное ветроколесо), показаны на рис. 2.2, а–г. Эти установки имеют линейную скорость концов лопастей, существенно превышающую скорость ветра.

Ветроустановки, использующие силу лобового сопротивления, состоят из укрепленных вертикально оси лопастей различной конфигурации (рис. 2.2, е–к). Они, как правило, вращаются с линейной скоростью, меньшей скорости ветра.

На рис. 2.2, д представлено ветроколесо, использующее эффект Магнуса (эффект возникновения подъемной силы, перпендикулярной направлению ветра, при вращении цилиндра или конуса).

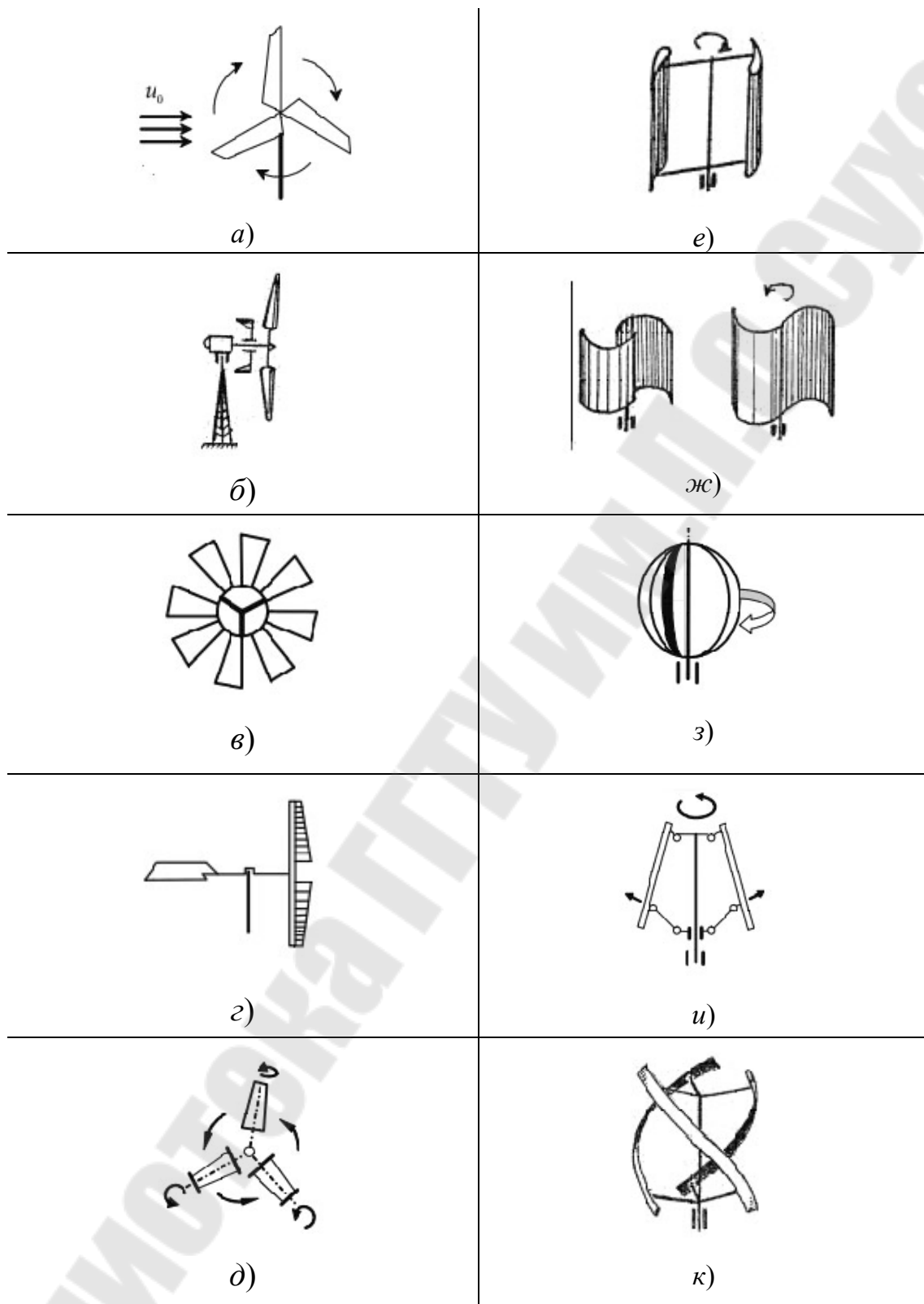


Рис. 2.2. Типы ветроколес:

a – репеллерное; *б* – репеллерное с вихрепреобразователем;
в – многолопастное; *г* – парусное; *д* – цилиндры Магнуса;
е – ортогональное; *ж* – Савониуса; *з* – Дарье; *и* – Мак-Гроува;
к – геликоидное

Каждое ветроколесо характеризуется:

1) ометаемой площадью S , т. е. площадью, покрываемой его лопастями при вращении, и равной (для горизонтально-осевых ветроколес) $S = \pi D^2 / 4$, где D – диаметр ветроколеса, либо площадью лобового сопротивления (для вертикально-осевых ветроколес) $S = hb$, где h и b – соответственно высота ротора и его средний диаметр;

2) геометрическим заполнением, равным отношению площади проекции лопастей на плоскость, перпендикулярную потоку, к ометаемой площади (так, например, при одинаковых лопастях четырехлопастное колесо имеет вдвое большее геометрическое заполнение, чем двухлопастное);

3) коэффициентом мощности c_N , характеризующим эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и зависящим от конструкции ветроколеса;

4) коэффициентом быстроходности Z , представляющим собой отношение скорости конца лопасти к скорости ветра.

Ветроэнергетические установки с большим геометрическим заполнением ветроколеса развивают значительную мощность при относительно слабом ветре и максимум мощности достигается при небольших оборотах колеса. ВЭУ с малым заполнением достигают максимальной мощности при больших оборотах.

Поэтому первые используются, например, в водяных насосах и даже при слабом ветре сохраняют работоспособность, а вторые – в качестве электрогенераторов, где требуется высокая частота вращения.

Экспериментальная установка

Работа выполняется на аэродинамической трубе 1 (рис. 2.3). В трубе воздушный поток создается осевым вентилятором (на рисунке не показан). Величина скорости потока в трубе регулируется изменением тока питания вентилятора. Скорость воздушного потока в рабочей области трубы определяется с помощью трубки Пито–Прандтля 2 и микроманометра 3. В рабочую зону трубы 1 установлено ветроколесо 4 с электрическим генератором 5. К генератору подключена нагрузка 6. В цепь нагрузки подключены также вольтметр 7 и амперметр 8.

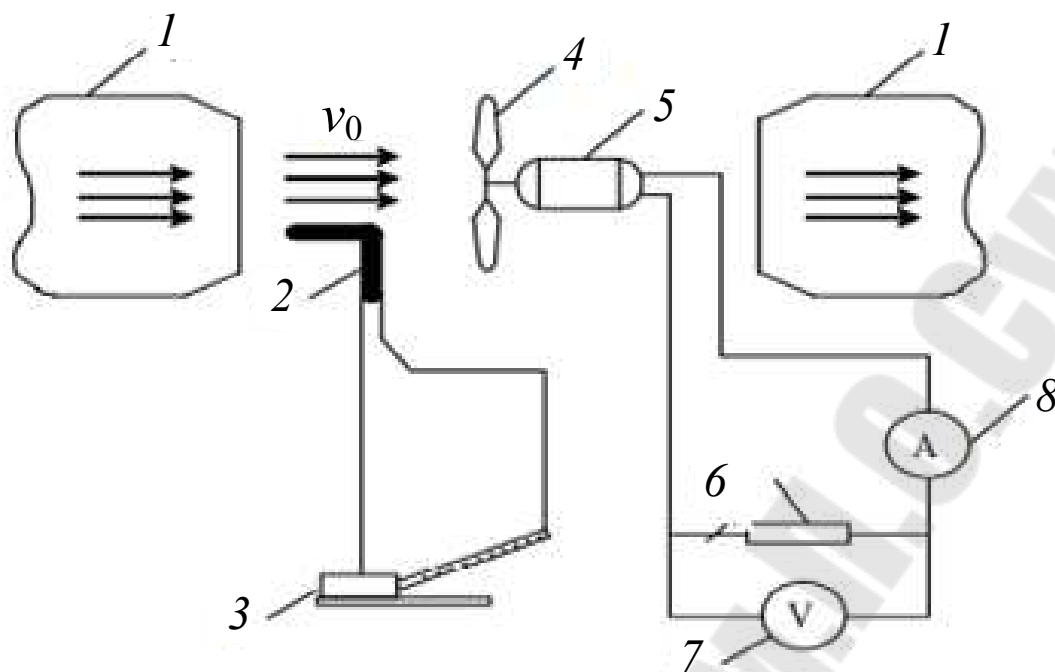


Рис. 2.3. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

Лабораторную работу необходимо выполнять в следующем порядке:

1. Ознакомиться с разными типами ветроколес.
2. Установить репеллерное ветроколесо.
3. Включить блок питания аэродинамической трубы. Установить необходимое значение скорости воздушного потока в рабочей зоне путем изменения тока питания вентилятора.
4. С помощью трубки Пито–Прандтля измерить значение скорости воздушного потока v_0 . Для этого необходимо снять показания микроманометра 3. Данные занести в табл. 2.1.
5. Измерить напряжение U , создаваемое электрическим генератором, и ток I в нагрузке 6.
6. Изменить величину скорости воздушного потока в аэродинамической трубе. Произвести все вышеперечисленные измерения.
7. Заменить репеллерное ветроколесо на ветроколесо Савониуса и выполнить измерения, описанные в пп. 3–6.

Результаты измерений и вычислений

Тип ветроколеса	Номер опыта	Показания микроманометра $l-l_0$, м	v_0 , м/с	Параметры генератора ветроустановки			C_N
				U , В	I , А	N , Вт	
Репеллерное	1						
	2						
	3						
	4						
Савониуса	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

Обработка экспериментальных данных

1. Вычислить скорость потока воздуха v_0 по формуле

$$v_0 = \sqrt{2hK(l-l_0) \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{в}}}},$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность спирта в микроманометре ($\rho_{\text{ж}} = 809,5 \text{ кг/м}^3$); $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха ($\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$); K – синус угла наклона трубки микроманометра ($K = 0,2$).

2. Вычислить электрическую мощность генератора $N = UI$.
3. Определить ометаемую площадь для репеллерного ветроколеса по формуле $S = \pi D^2 / 4$, где D – диаметр ветроколеса ($D = 0,17 \text{ м}$).
4. Определить коэффициент мощности ветроколеса:

$$C_N = 2N / (S \rho_{\text{в}} v_0^3).$$

5. Сравнить коэффициенты мощности различных типов ветроколес при разных скоростях воздушного потока. Провести анализ полученных результатов и построить графики зависимости C_N от v_0 .

6. Исходные данные, необходимые для расчета коэффициента мощности различных типов ветроколес, приведены в табл. 2.2.

Исходные данные для расчета

Параметры		Номер варианта	Тип ветроколеса									
			репеллерное				Савониуса					
			1	2	3	4	1	2	3	4	5	
Показания микроманометра $l - h$, мм		I	8	15	20	25	5	10	13	19	25	
		II	9	14	21	26	6	11	14	18	26	
		III	10	15	22	27	7	10	15	20	27	
		IV	9	14,5	21	28	6	12	14,5	19	28	
		V	10	16	23	29	8	13	16	22	29	
Параметры генератора ветроколеса	U, В	I	4,10	9,50	12,2	19,5	3,4	7,1	8,1	10,8	12,8	
		II	4,20	10,0	12,6	20,0	3,6	7,6	8,5	11,0	13,1	
		III	4,50	9,80	12,9	22,0	3,8	7,1	9,0	11,5	13,4	
		IV	4,25	10,0	12,7	23,5	3,65	8,1	8,7	10,9	13,9	
		V	4,52	11,0	17,0	25,0	4,1	8,2	9,5	12,1	14,5	
	I, мА	I	9,5	20,0	26,0	41,5	7,5	15,5	17,5	23,0	27,5	
		II	10,0	19,0	27,5	45,0	8,0	16,5	19,0	22,7	28,5	
		III	11,0	20,5	30,5	47,5	9,0	16,0	19,5	23,0	29,5	
		IV	10,0	20,0	27,5	53,0	8,5	17,0	20,0	23,5	30,5	
		V	11,0	23,0	33,5	60,5	9,5	18,0	22,5	26,5	33,0	

Лабораторная работа № 3**Топливоно-энергетические ресурсы**

Цель работы: изучение характеристик возобновляемых и невозобновляемых ресурсов, видов топлива. Условное топливо, соотношение и калорийность, единицы измерения.

Общие сведения**1. Возобновляемые и невозобновляемые энергетические ресурсы**

Топливоно-энергетические ресурсы (ТЭР) являются частью всей совокупности природных ресурсов и подразделяются на восполняемые и невозполняемые.

Восполняемыми или возобновляемыми источниками энергии называются источники, потоки энергии которых постоянно существуют.

вуют или периодически возникают в окружающей среде и не являются следствием целенаправленной деятельности человека.

К восполняемым энергоресурсам относят энергию:

- 1) Солнца;
- 2) мирового океана в виде энергии приливов и отливов, энергии волн;
- 3) рек;
- 4) ветра;
- 5) морских течений;
- 6) морских водорослей;
- 7) вырабатываемую из биомассы;
- 8) водостоков;
- 9) твердых бытовых отходов;
- 10) геотермальных источников.

Недостатком возобновляемых источников энергии является низкая степень ее концентрации. Но это в значительной степени компенсируется широким распространением, относительно высокой экологической частотой и их практической неисчерпаемостью. Такие источники наиболее рационально использовать непосредственно вблизи потребителя без передачи энергии на расстояние.

В энергетической отрасли используют потоки энергии, уже существующие в окружающем пространстве, перераспределяют, но не нарушают их общий баланс.

Неиспользование потоков энергии возобновляемых источников приводит к ее безвозвратной потере, предопределяет несколько иной подход к оценке эффективности устройств, применяющих эти источники, по сравнению с устройствами, работающими на невозобновляемых ресурсах.

Учитывая истощенность энергетических ресурсов, роль использования возобновляемых источников энергии во многих странах с каждым годом возрастает.

Так, выработка электроэнергии на ветряных установках увеличивается в среднем в год на 24 %, от солнечных батарей – на 17 %, а на геотермальных станциях – на 4 %.

В Дании на ветроустановках вырабатывается 10 % всей производимой в стране электроэнергии, в Германии (земля Шлезвиг-Гольштейн) – 14, Испании (провинция Наварра) – 22 %.

Основным сдерживающим фактором использования возобновляемых источников энергии в мире являются высокие первоначальные инвестиции в оборудование и инфраструктуру.

Однако, по мнению специалистов, благодаря рациональной энергетической политике уже через 50 лет доля биомассы в энергопроизводстве возрастет с 2 до 10 %, а доля солнечной энергии составит более 10 %. При этом производство энергии с использованием нефти сократится вдвое, угля – почти втрое.

Предполагается, что к 2100 г. большую часть потребляемой энергии человечество будет получать именно из возобновляемых источников. Так, на долю биомассы будет приходиться более 20 % потребляемой энергии, Солнца – более 40, тогда как доля газа сократится до 10, нефти – до 8, угля – до 3–4 %.

К невосполняемым энергетическим ресурсам относят:

1) каменный уголь, запасы которого в мире оцениваются в 10–12 трлн т;

2) нефть, запасы которой распределены крайне неравномерно на Земле: на Ближнем и Среднем Востоке – 67 %, в Африке – 12,5, Юго-Восточной Азии и Дальнем Востоке – 3, Северной Америке – 9, Центральной и Южной Америке – 5,5, Западной Европе – 3 %. По уровню добычи нефти Россия занимает 3-е место в мире, уступая только Саудовской Аравии и США.

Подавляющая часть нефти потребляется в Северной Америке, в индустриально развитых странах Западной Европы и Японии;

3) природный газ, запасы которого характеризуются данными, приведенными в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Доказанные запасы газа в мире

Регионы и страны	Запасы на 1 января 2000 г.	
	млрд м ³	%
Северная Америка	7 305,1	5,0
В том числе:		
США	4 645,1	3,2
Центральная и Южная Америка	6 304,8	4,3
В том числе:		
Венесуэла	4 035,2	2,7
Ближний и Средний Восток	49 533,4	33,8
В том числе:		
Абу-Даби	5 553,0	3,8
Иран	23 002,0	15,7
Катар	8 495,1	5,8
Саудовская Аравия	5 776,7	3,9

Регионы и страны	Запасы на 1 января 2000 г.	
	млрд м ³	%
Африка	11 161,6	7,6
В том числе:		
Алжир	4 522,2	3,1
Нигерия	3 511,3	2,4
Западная Европа	7 108,8	4,9
В том числе:		
Нидерланды	1 771,0	1,2
Норвегия	3 847,0	2,6
Восточная Европа и СНГ	54 916,7	37,5
В том числе:		
Россия	46 900,0	32,0
Юго-Восточная Азия и Австралия	10 292,5	6,9
В том числе:		
Китай	1 367,7	1,5
Малайзия	2 313,5	1,4
Индонезия	2 046,4	
<i>Итого</i>	146 622,8	100,0

Как видно из этих данных, основные разведанные запасы газа в мире сосредоточены в России (32 %), Иране (15,7 %), Катаре (6 %). Добыча газа в России составляет 25,1, в США – 24,1, Канаде – 8,1 % от мировой.

Владельцами крупных газовых месторождений также являются Казахстан, Туркменистан, Ирак, Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты, Египет, Алжир, Ливия. Активно осваиваются газовые шельфы в Северном и Норвежском морях. Суммарные запасы природного газа здесь превышают российские.

Месторождения нефти и газа открыты более чем в 90 странах мира. Разведанные запасы газа в мире составляют 146,6 трлн м³, нефти – 138,6 млрд т. Доля газа в топливно-энергетическом комплексе мира составляет в настоящее время 22 %.

2. Виды топлива, характеристика и запасы их в Беларуси

По определению Д. И. Менделеева, «топливом называется горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты». Минеральное топливо – основной источник энергии в современном

хозяйстве и важнейшее промышленное сырье. Переработка минерального топлива является базой формирования промышленных предприятий, в том числе нефтехимических, газохимических, торфобрикетных и т. п.

Топливо подразделяют на следующие четыре группы:

- 1) твердое;
- 2) жидкое;
- 3) газообразное;
- 4) ядерное.

Самым первейшим видом твердого топлива были (а во многих местах остаются и в настоящее время) древесина и другие растения: солома, камыш, стебли кукурузы и т. п.

Первая промышленная революция, которая в XIX в. полностью преобразовала аграрные страны Европы, а затем и Америку, произошла в результате перехода от древесного топлива к ископаемому угольному. Потом пришла эра электричества.

Открытие электричества оказало огромное влияние на жизнь человечества и обусловило зарождение и рост крупнейших городов мира.

Применение нефти (жидкий вид топлива) и природного газа в сочетании с развитием электроэнергетики, а затем и освоение энергии атома позволили промышленно развитым странам осуществить грандиозные преобразования, итогом которых стало формирование современного облика Земли.

К твердому виду топлива относят:

- 1) древесину, другие продукты растительного происхождения;
- 2) уголь (с его разновидностями: каменный, бурый);
- 3) торф;
- 4) горючие сланцы.

Ископаемые твердые топлива (за исключением сланцев) являются продуктом разложения органической массы растений.

Самый молодой из них – торф, представляющий собой плотную массу, образовавшуюся из перегнивших остатков болотных растений.

Следующие по «возрасту» – бурые угли – землистая или черная однородная масса, которая при длительном хранении на воздухе частично окисляется (выветривается) и рассыпается в порошок.

Затем идут каменные угли, обладающие, как правило, повышенной прочностью и меньшей пористостью. Органическая масса наиболее старых из них – антрацитов – претерпела наибольшие изменения и на 93 % состоит из углерода. Антрацит отличается высокой твердостью.

Горючие сланцы представляют собой полезное ископаемое из группы твердых каустобиолитов, дающее при сухой перегонке значительное количество смолы, близкой по составу к нефти.

Залежи горючих сланцев в Беларуси находятся на юге республики (Туровское месторождение – в Гомельской области, Любанское – в Солигорском и Любанском районах Минской области). Открыты они в 1963 г. Прогнозные запасы составляют 11 млрд т, в том числе промышленные на глубине 300 м – 3,6 млрд т, что соответствует 792 млн т у. т. Наиболее изученным является Туровское месторождение.

Жидкие виды топлива получают путем переработки нефти. Сырую нефть нагревают до 300–370 °С, после чего полученные пары разгоняют на фракции, конденсирующиеся при различной температуре:

- 1) сжиженный газ (выход около 1 %);
- 2) бензиновую (около 15 %, $t_k = 30\text{--}180$ °С);
- 3) керосиновую (около 17 %, $t_k = 120\text{--}135$ °С);
- 4) дизельную (около 18 %, $t_k = 180\text{--}350$ °С).

Жидкий остаток с температурой начала кипения 330–350 °С называется мазутом.

Газообразными видами топлива являются природный газ, добываемый как непосредственно, так и попутно с добычей нефти (попутный газ).

Основной компонент природного газа – метан CH_4 и в небольшом количестве азот N_2 , высшие углеводороды C_nH_m , диоксид углерода CO_2 .

Попутный газ содержит меньше метана, чем природный, но больше высших углеводородов, и поэтому выделяет при сгорании больше теплоты.

Широко распространен в промышленности и особенно в быту сжиженный газ, получаемый при первичной переработке нефти. На металлургических заводах в качестве попутных продуктов получают коксовый и доменный газы. Они используются здесь же на заводах для отопления печей и технологических аппаратов.

В районах расположения угольных шахт своеобразным топливом может служить метан, выделяющийся из пластов при их вентиляции. Газы, получаемые путем газификации (генераторные), или путем сухой перегонки (нагрев без доступа воздуха) твердых топлив, в большинстве стран практически вытеснены природным газом, однако в настоящее время снова возрождается интерес к их производству и использованию.

В последнее время все большее применение находит биогаз – продукт анаэробной ферментации (сбраживания) органических отходов (навоза, растительных остатков, мусора, сточных вод и т. д.).

Ядерным топливом является уран. Эффективность использования его показывает работа первого в мире атомного ледокола «Ленин». В сутки он потреблял 260–310 г урана. Дизельному ледоколу для выполнения такого же объема работы потребовалось бы 560 т дизельного топлива.

Анализ оценки обеспеченности ТЭР показывает, что наиболее дефицитным видом топлива является нефть. Ее хватит приблизительно на 250 лет. Затем через 35–64 года истощатся запасы горючего газа и урана. Лучшее всего обстоит дело с углем, запасы которого в мире достаточно велики, и обеспеченность углем составит 218–330 лет.

В Республике Беларусь собственные топливно-энергетические ресурсы представлены древесиной, нефтью, торфом, бурым углем, горючими сланцами.

Общие запасы древесины в стране оцениваются примерно в 1093,2 млн м, что составляет около 1 % запасов древесины СНГ. Лесистость территории – 38 %. Запас спелого древостоя составляет около 74,7 млн м³. На душу населения приходится 0,6 га леса и 93 м³ запасов древесины. Средний возраст древостоя – 40 лет, средний прирост – 3,7 м³ на 1 га; средний запас на 1 га в спелых лесах – 205 м³. Основная часть лесов (45 %) приходится на Гомельскую и Минскую области.

Основной нефтегазоносной территорией Беларуси является Припятский прогиб. Известно 55 месторождений нефти, в том числе 53 – в Гомельской и 2 – в Могилевской областях; 33 месторождения разрабатываются, крупнейшее из которых – Речицкое – эксплуатируется с 1965 г.

С начала промышленной разработки нефти (1965 г.) в стране добыто 100 млн т единственным нефтедобывающим республиканским унитарным предприятием – РУП «Объединение «Беларуснефть», которое имеет 508 эксплуатационных скважин на 63 месторождениях нефти. Бурением пройдено 18,531 млн м горных пород. Разведанные запасы нефти составляют около 80 млн т, газоконденсата – 0,44 млн т, попутного газа – 9 734 млн м.

Годовая потребность Республики Беларусь в нефти составляет 16–18 млн т, а собственные ресурсы составляют всего лишь 9–10 %. Остальное количество нефтепродуктов в республику поставляет около 70 сторонних субъектов хозяйствования.

Наиболее распространенным видом местного топлива в Беларуси является торф. Торфяные отложения имеются практически во всех регионах. По запасам торфа (первичные запасы составляли 5,65 млрд т, оставшиеся геологические оцениваются в 4,3 млрд т) Беларусь занимает второе место в СНГ, уступая только России. Разведано более 9000 месторождений торфа общей площадью в границах промышленной глубины 2,54 млн га.

В последнее время годовая добыча составляет 27–30 млн т. Наиболее богатые залежи его находятся в Брестской, Витебской, Могилевской областях, в которых геологический запас торфа составляет около 68 % от общего запаса в стране.

Основными месторождениями торфа являются Светлогорское, Василевичское, Лукское (Гомельская область), Березинское, Смолевичское (Минская область), Березовское (Гродненская обл.), Даблевский Мох, Усвиж Бук, Витебское (Витебская область). На базе этих месторождений были в свое время построены крупные электростанции (Василевичская, Смолевичская ГРЭС и др.) или крупные торфобрикетные заводы.

Месторождения бурого угля находятся, как и нефть, в Припятском прогибе. Прогнозные ресурсы его на глубине 600 м оцениваются в 410 млн т, в том числе мощностью пласта от 0,7 м и более – 294 млн т.

В настоящее время наиболее изученными являются неогеновые угли (залегает на глубине 20–80 м) трех месторождений: Житковичского, Бриневского и Тонежского – с общими запасами 152 млн т (37 млн т у. т.), промышленными – 121 млн т (29,5 млн т у. т.). На Житковичском месторождении подготовлены для промышленного освоения два месторождения с общими запасами 46,7 млн т (11,4 млн т у. т.), что позволяет проектировать строительство разреза мощностью в 2 млн т (488 т у. т.).

В последние годы на юге Беларуси (Лельчицкий район) открыто относительно большое месторождение – Букчинское, которое в будущем может иметь промышленное значение.

Разведанные запасы угля пока не разрабатываются, поскольку уголь залегает на большой глубине, мощность его пластов небольшая.

Имеющиеся запасы бурых углей в объеме 151,6 млн т пригодны для использования после брикетирования с торфом, однако их добыча нецелесообразна, так как экологический ущерб превысит полученные результаты.

Нецелесообразна и добыча горючих сланцев в объеме имеющихся запасов (11 млрд т), поскольку стоимость получаемых продуктов выше мировых цен на нефть.

3. Условное топливо, соотношение и калорийность.

Единицы измерения

Экономические расчеты, сравнение показателей топливоиспользующих устройств друг с другом и планирование необходимо осуществлять на единой базе. Поэтому введено понятие так называемого условного топлива.

Условное топливо представляет собой единицу учета органического топлива, применяемую для сопоставления эффективности различных видов топлива и суммарного учета. Использование условного топлива особенно удобно для сопоставления экономичности различных теплоэнергетических установок.

В качестве единицы условного топлива применяется 1 кг топлива с теплотой сгорания 7000 ккал/кг (29,3 МДж/кг), что соответствует хорошему малозольному сухому углю. Для сравнения укажем, что бурые угли имеют теплоту сгорания менее 24 МДж/кг, а антрациты и каменные угли – 23–27 МДж/кг. Соотношение между условным топливом и натуральным выражается формулой

$$B_m = \left(\frac{Q_H^p}{7000} \right) B_H = \mathcal{E} B_H,$$

где B_m – масса эквивалентного количества условного топлива, кг; B_H – масса натурального топлива, кг (твердое и жидкое топливо), или м^3 (газообразного); Q_H^p – низшая теплота сгорания данного натурального топлива, ккал/кг или ккал/ м^3 соответственно.

Соотношение $\mathcal{E} = Q_H^p / 7000$ называется калорийным коэффициентом, и его принимают для различных видов топлива:

- 1) нефти – 1,43;
- 2) природного газа – 1,15;
- 3) торфа – 0,34–0,41 (в зависимости от влажности);
- 4) торфобрикетов – 0,45–0,6 (в зависимости от влажности);
- 5) дизтоплива – 1,45;
- 6) мазута – 1,37.

Теплотворная способность различных видов топлива составляет примерно:

- 1) нефть – 42,00 МДж/кг;
- 2) природный газ – 33,60 МДж/м³;
- 3) каменный уголь – 29,40 МДж/кг;
- 4) дрова с влажностью 10 % – 16,38 МДж/кг;
- 5) дрова с влажностью 40 % – 10,08 МДж/кг;
- 6) торф с влажностью 10 % – 17,20 МДж/кг;
- 7) торф с влажностью 40 % – 10,50 МДж/кг.

Порядок выполнения работы

По заданию преподавателя пересчитать количество натурального топлива (натуральные единицы измерения перевести в тонны условного топлива).

Лабораторная работа № 4

Цикл теплового насоса

Цель работы: изучение цикла теплового насоса; определение коэффициента преобразования ε ; определение количества низкопотенциальной теплоты, отбираемой у окружающей среды Q_2 ; определение количества теплоты, передаваемой в систему отопления помещения Q_1 .

Общие сведения

Альтернативой традиционным способам теплоснабжения, основанным на сжигании топлива, является выработка тепла с помощью теплового насоса.

Независимо от типа теплового насоса и типа привода компрессора на единицу затраченного исходного топлива потребитель получает, по крайней мере, в 1,1–2,3 раза больше тепла, чем при прямом сжигании топлива.

Такая высокая эффективность производства тепла достигается тем, что тепловой насос вовлекает в полезное использование низкопотенциальное тепло естественного происхождения (тепло грунта, природных водоемов, грунтовых вод) и техногенного происхождения (промышленные стоки, стоки очистных сооружений, вентиляционные

выбросы и т. д.) с температурой от +3 до +40 °С, т. е. такое тепло, которое не может быть напрямую использовано для теплоснабжения.

Естественно, что тепловые насосы довольно интенсивно вытесняют традиционные способы теплоснабжения, основанные на сжигании органического топлива.

В настоящее время в мире работает 15–18 млн тепловых насосов различной мощности: от нескольких киловатт до сотен мегаватт.

В США более 30 % жилых домов оборудованы тепловыми насосами.

В Швеции с 1984 по 1986 г. введены в эксплуатацию 74 крупные (от 5 до 80 МВт) теплонасосные станции. Наиболее крупной теплонасосной установкой является Стокгольмская установка мощностью 320 МВт, работающая на принципе охлаждения воды, поступающей из Балтийского моря. Эта установка, расположенная на причаленных к берегу баржах, использует и зимой морскую воду с температурой 4 °С, охлаждая ее до 2 °С. Себестоимость тепла от этой установки на 20 % ниже себестоимости тепла, получаемого от газовой котельной. Общее количество тепла, вырабатываемого теплонасосными установками в Швеции, составляет около 50 % от требуемого.

Результатом работы всякого холодильного цикла является охлаждение холодного источника и нагрев горячего за счет подвода внешней работы.

Кельвин (1852) предложил применить обратный цикл для целей отопления, используя его в качестве теплового насоса, который перекачивал бы теплоту, отобранную от холодного источника (внешней среды), в горячий источник.

Основное уравнение теплового баланса обратного цикла имеет вид:

$$q_1 = q_0 + l,$$

где q_1 – удельная теплота, передаваемая горячему источнику, кДж/кг (теплота, передаваемая в систему отопления помещения); q_0 – удельная теплота, отдаваемая холодным источником, кДж/кг (низкопотенциальная теплота); l – удельная работа, подводимая от внешнего источника, кДж/кг.

Эффективность работы теплового насоса оценивается коэффициентом преобразования ε , который представляет собой отношение теплоты, полученной телом, к энергии, подводимой от внешнего источника:

$$\varepsilon = \frac{q_1}{l}.$$

Рабочий цикл теплового насоса представлен на рис. 4.1.

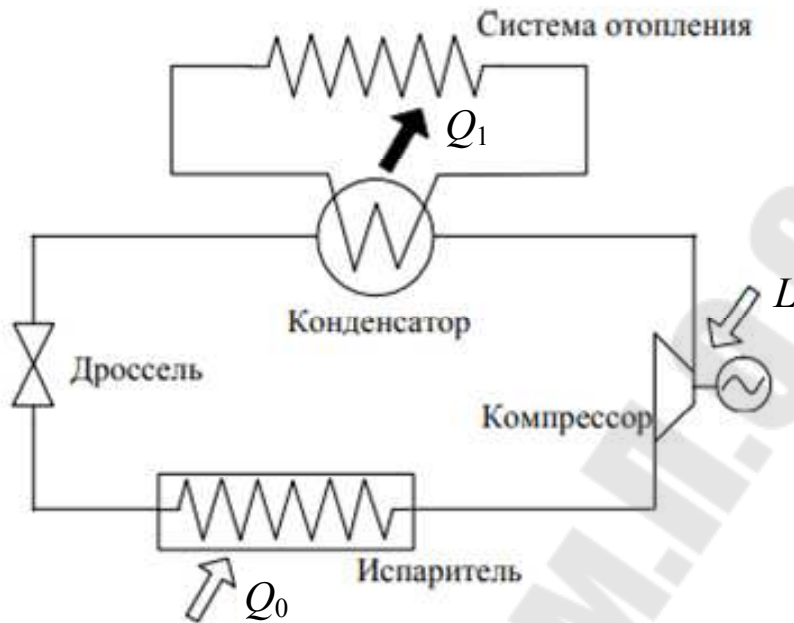


Рис. 4.1. Рабочий цикл теплового насоса

Низкопотенциальная теплота Q_0 поступает в испаритель теплового насоса, где ее воспринимает рабочее тело (хладагент), задействованное в цикле.

Источником низкопотенциальной теплоты может быть наружный воздух, природные водоемы, грунт, питьевая вода, промышленные стоки, вентиляционные выбросы и т. д.

В качестве хладагентов в циклах используются теплоносители с низкой температурой кипения – углекислота, аммиак, фреоны.

Хладагент поступает в испаритель в жидком состоянии. В процессе подвода теплоты Q_0 к жидкому хладагенту происходит его превращение в пар (при постоянном давлении и температуре).

Пары хладагента поступают в компрессор, где сжимаются, повышается их давление и температура. При сжатии в компрессоре от внешнего источника (электродвигателя) подводится работа l .

Нагретые пары хладагента поступают в конденсатор, где отдают свое тепло Q_1 в систему отопления помещения и за счет отдачи теплоты конденсируются (превращаются в жидкость) при постоянном давлении и температуре.

Жидкий хладагент поступает в дроссель, где его давление падает до давления в испарителе, а температура снижается до температуры низкопотенциального источника. Цикл замыкается.

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 4.2.

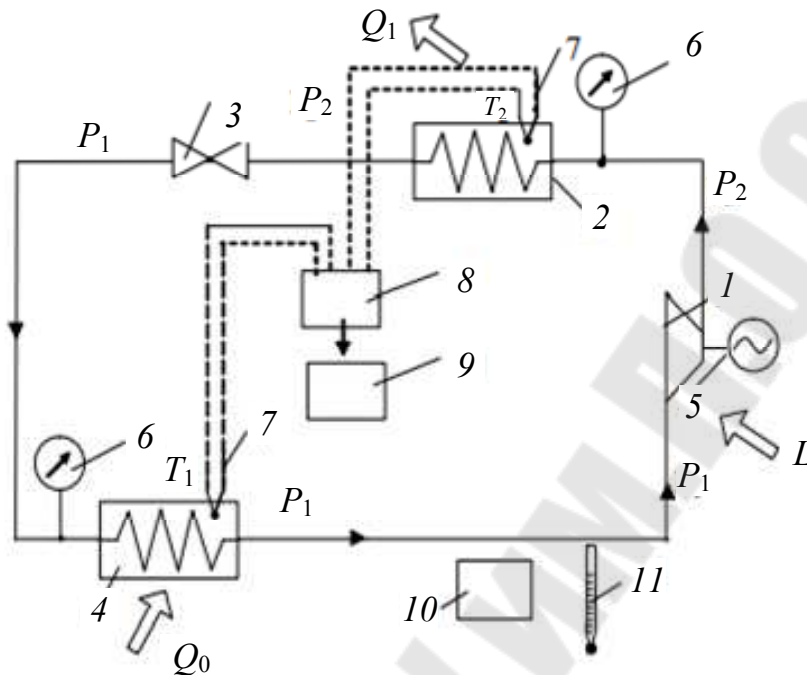


Рис. 4.2. Схема экспериментальной установки:

- 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – дроссельный вентиль;
4 – испаритель; 5 – электродвигатель; 6 – манометры;
7 – хромель-копелевые термопары; 8 – переключатель термопар;
9 – милливольтметр; 10 – барометр; 11 – термометр

Порядок выполнения работы

Лабораторную работу необходимо выполнить в следующем порядке:

1. Включить установку в сеть.
2. Выйти на стационарный режим, о котором свидетельствует неизменность показаний манометров.
3. Измерить при помощи манометров 6 давление за компрессором 1 и за дроссельным вентилем 3 перед испарителем 4.
4. Измерить атмосферное давление барометром 10 и температуру термометром 11 в помещении, где расположена установка.
5. При помощи термопар 7 и милливольтметра 9 измерить температуры в конденсаторе 2 и испарителе 4 в милливольтках и, пользуясь табл. 4.4, перевести их в градусы Цельсия с учетом поправки на холодный спай термопар (к табличному значению температуры в °С прибавить температуру окружающей среды).

6. Полученные данные занести в табл. 4.1.

7. Исходные данные, необходимые для выполнения расчетов, приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.1

Результаты измерений и вычислений

$P_{1\text{ман, ати}}$	$P_{2\text{ман, ати}}$	$P_1,$ МПа	$P_2,$ МПа	$P_a,$ Па	$t_1,$ мВ	$t_2,$ мВ	$t_1,$ °С	$t_2,$ °С	$t_{0\text{с}},$ °С

Рассмотренный цикл теплового насоса в $T-s$ -диаграмме выглядит следующим образом (рис. 4.3). Координаты: T – абсолютная температура, К; $s = dq/T$ – удельная энтропия – термодинамический параметр состояния, кДж/(кг · К).

По полученным значениям температур t_1 и t_2 (табл. 4.1) и с использованием данных табл. 4.3 заполнить табл. 4.2.

Таблица 4.2

**Термодинамические параметры состояния –
удельные энтальпия и энтропия**

Температура	Параметры			
	$h',$ кДж/кг	$h'',$ кДж/кг	$s',$ кДж/(кг · К)	$s'',$ кДж/(кг · К)
$t_1,$ °С				
$t_2,$ °С				

Таблица 4.3

Исходные данные

Номер варианта	Показатели					
	$P_{1\text{ман, ати}}$	$P_{2\text{ман, ати}}$	$P_a,$ Па	$t_1,$ мВ	$t_2,$ мВ	$t_{0\text{с}},$ °С
I	0,85	10,5	101 000	-1,40	2,0	16
II	0,90	11,1	90 000	-1,30	2,2	20
III	0,81	10,2	97 000	-1,48	1,9	21
IV	0,93	11,7	118 000	1,60	2,6	19
V	0,97	12,1	93 000	1,70	2,8	22

В таблице термодинамических свойств хладагента (фреона-12) (табл. 4.5) параметры на линии кипения (нижней пограничной кривой) обозначены параметрами с одним штрихом (h', s'); на линии су-

хого насыщенного пара (верхней пограничной кривой) – с двумя штрихами (h'' , s''). Между линиями кипения и сухого насыщенного пара находится область влажного насыщенного пара. Степень сухости влажного насыщенного пара x_1 – отношение массы сухого насыщенного пара к массе влажного насыщенного пара. Значение x_1 изменяется от 0 (кипящая жидкость) до 1 (сухой насыщенный пар).

Таблица 4.4

Градуировочная таблица для термопары «хромель–копель»

Температура рабочего конца °С	ТермоЭДС, мВ, температура, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-90	-5,146	-5,196	-5,246	-5,296	-5,346	-5,396	-5,445	-5,494	-5,543	-5,592
-80	-4,634	-4,686	-4,738	-4,790	-4,841	-4,892	-4,943	-4,994	-5,045	-5,096
-70	-4,106	-4,160	-4,213	-4,266	-4,319	-4,372	-4,425	-4,478	-4,530	-4,582
-60	-3,562	-3,617	-3,672	-3,727	-3,782	-3,836	-3,890	-3,945	-3,999	-4,052
-50	-3,003	-3,059	-3,116	-3,172	-3,228	-3,284	-3,340	-3,396	-3,451	-3,507
-40	-2,429	-2,487	-2,545	-2,603	-2,660	-2,718	-2,775	-2,832	-2,889	-2,946
-30	-1,841	-1,901	-1,960	-2,019	-2,078	-2,137	-2,196	-2,254	-2,313	-2,371
-20	-1,240	-1,301	-1,361	-1,422	-1,482	-1,542	-1,602	-1,662	-1,722	-1,782
-10	-0,626	-0,688	-0,750	-0,812	-0,873	-0,935	-0,996	-1,057	-1,118	-1,179
0	0	-0,063	-0,126	-0,189	-0,252	-0,315	-0,377	-0,440	-0,502	-0,564
0	0	0,063	0,127	0,190	0,254	0,318	0,381	0,445	0,509	0,574
10	0,638	0,702	0,767	0,832	0,896	0,961	1,026	1,091	1,157	1,222
20	1,287	1,353	1,418	1,484	1,550	1,616	1,682	1,748	1,815	1,881
30	1,947	2,014	2,081	2,148	2,214	2,282	2,349	2,416	2,483	2,551
40	2,618	2,686	2,753	2,821	2,889	2,957	3,025	3,094	3,162	3,260
50	3,299	3,367	3,436	3,505	3,574	3,643	3,712	3,781	3,850	3,920
60	3,989	4,059	4,128	4,198	4,268	4,338	4,408	4,478	4,548	4,619
70	4,689	4,760	4,830	4,901	4,972	5,042	5,113	5,184	5,255	5,327
80	5,398	5,469	5,541	5,612	5,684	5,756	5,828	5,899	5,971	6,043
90	6,116	6,188	6,260	6,333	6,405	6,478	6,550	6,623	6,696	6,769
100	6,842	6,915	6,988	7,061	7,135	7,208	7,281	7,355	7,429	7,502
110	7,576	7,650	7,724	7,798	7,872	7,946	8,021	8,095	8,169	8,244
110	7,576	7,650	7,724	7,798	7,872	7,946	8,021	8,095	8,169	8,244
120	8,318	8,393	8,468	8,543	8,618	8,693	8,768	8,843	8,918	8,993
130	9,069	9,144	9,220	9,295	9,371	9,446	9,522	9,598	9,674	9,750
140	9,826	9,902	9,979	10,055	10,131	10,208	10,284	10,361	10,438	10,514
150	10,591	10,688	10,745	10,822	10,899	10,976	11,054	11,131	11,208	11,286

Температура рабочего конца °С	ТермоЭДС, мВ, температура, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
160	11,363	11,441	11,519	11,596	11,674	11,752	11,830	11,908	11,986	12,064
170	12,142	12,221	12,299	12,377	12,456	12,534	12,613	12,692	12,770	12,849
180	12,928	13,007	13,086	13,165	13,244	13,323	13,403	13,482	13,561	13,641
190	13,720	13,800	13,879	13,959	14,039	14,119	14,199	14,278	14,359	14,439

Таблица 4.5

Свойства насыщенных паров фреона-12

Температура		Давление абсолютное	Энтальпия		Теплота парообразования	Энтропия	
			жидкость	пар		жидкость	пар
$t, ^\circ\text{C}$	T, K	$P, \text{бар}$	$h', \text{кДж/кг}$	$h'', \text{кДж/кг}$	$r, \text{кДж/кг}$	$s', \text{кДж/(кг} \cdot \text{K)}$	$s'', \text{кДж/(кг} \cdot \text{K)}$
-10	263,15	2,1910	409,47	568,89	159,39	4,15280	4,75859
-9	264,15	2,2700	410,39	569,32	158,93	4,15624	4,75809
-8	265,15	2,3520	411,27	569,78	158,51	4,15963	4,75759
-7	266,15	2,4353	412,19	570,24	158,05	4,16302	4,75704
-6	267,15	2,5215	413,11	570,74	157,63	4,16645	4,75658
-5	268,15	2,6088	414,03	571,21	157,17	4,16984	4,75612
-4	269,15	2,6999	414,95	571,67	156,71	4,17323	4,75562
-3	270,15	2,7928	415,87	572,13	156,25	4,17663	4,75516
-2	271,15	2,8870	416,84	572,63	155,79	4,18006	4,75478
-1	272,15	2,9857	417,76	573,09	155,33	4,18341	4,75432
0	273,15	3,0857	418,68	573,55	154,87	4,18680	4,75394
1	274,15	3,1882	419,60	574,01	154,41	4,19019	4,75348
2	275,15	3,2934	420,56	574,47	153,91	4,19354	4,75302
3	276,15	3,4006	421,49	574,93	153,45	4,19693	4,75265
4	277,15	3,5112	422,45	575,39	152,94	4,20028	4,75227
5	278,15	3,6244	423,37	575,85	152,48	4,20363	4,75189
6	279,15	3,7398	424,33	576,31	151,98	4,20702	4,75152
7	280,15	3,8587	425,30	576,77	151,48	4,21037	4,75118
8	281,15	3,9797	426,22	577,19	150,98	4,21372	4,75080
9	282,15	4,1044	427,18	577,65	150,47	4,21707	4,75043
10	283,15	4,2301	428,14	578,11	149,97	4,22042	4,75013
11	284,15	4,3606	429,14	578,53	149,43	4,22377	4,74976
12	285,15	4,4354	430,07	578,99	148,92	4,22712	4,74946

Температура		Давление абсолютное	Энтальпия		Теплота парообразования	Энтропия	
			жидкость	пар		жидкость	пар
$t, ^\circ\text{C}$	T, K	$P, \text{бар}$	$h', \text{кДж/кг}$	$h'', \text{кДж/кг}$	$r, \text{кДж/кг}$	$s', \text{кДж/(кг} \cdot \text{K)}$	$s'', \text{кДж/(кг} \cdot \text{K)}$
13	286,15	4,6296	431,03	579,41	148,38	4,23043	4,74909
14	287,15	4,7681	431,99	579,83	147,84	4,23378	4,74875
15	288,15	4,9108	433,00	580,33	147,33	4,23708	4,74842
16	289,15	5,0553	433,96	580,71	146,75	4,24043	4,74812
17	290,15	5,2041	434,92	581,17	146,24	4,24378	4,74783
18	291,15	5,3549	435,93	581,59	145,65	4,24709	4,74750
19	292,15	5,5086	436,89	582,01	145,11	4,25040	4,74720
20	293,15	5,6669	437,90	582,47	144,57	4,25371	4,74691
21	294,15	5,5883	438,86	582,84	143,98	4,25705	4,74662
22	295,15	5,9930	439,87	583,26	143,40	4,26036	4,74633
23	296,15	6,1610	440,83	583,64	142,81	4,26363	4,74604
24	297,15	6,3335	441,83	584,06	142,23	4,26694	4,74575
25	298,15	6,5080	442,84	584,52	141,68	4,27024	4,74549
26	299,15	6,6857	443,84	584,90	141,05	4,29993	4,74519
27	300,15	6,8666	444,85	585,27	140,43	4,27686	4,74486
28	301,15	7,0542	445,85	585,69	139,84	4,28012	4,74457
29	302,15	7,2435	446,86	586,07	139,21	4,28339	4,74427
30	303,15	7,4344	447,86	586,49	138,62	4,28674	4,74406
31	304,15	7,6321	448,87	586,82	137,96	4,29000	4,74369
32	305,15	7,8352	449,87	587,20	137,33	4,29327	4,74339
33	306,15	8,0417	450,88	587,58	136,70	4,29649	4,74306
34	307,15	8,2461	451,92	587,95	136,03	4,29980	4,74281
35	308,15	8,4596	452,93	588,29	135,36	4,30311	4,74251
40	313,15	9,5818	458,08	590,09	132,01	4,31940	4,74097
45	318,15	10,810	463,31	591,72	128,41	4,33568	4,73933
50	323,15	12,147	468,54	593,10	124,56	4,35189	4,73741
55	328,15	13,600	474,16	595,07	120,91	4,36876	4,73728
60	333,15	15,182	479,68	596,58	116,90	4,38509	4,73850
65	338,15	16,883	485,33	597,96	112,63	4,40142	4,73452

Цикл теплового насоса представлен на рис. 4.3.

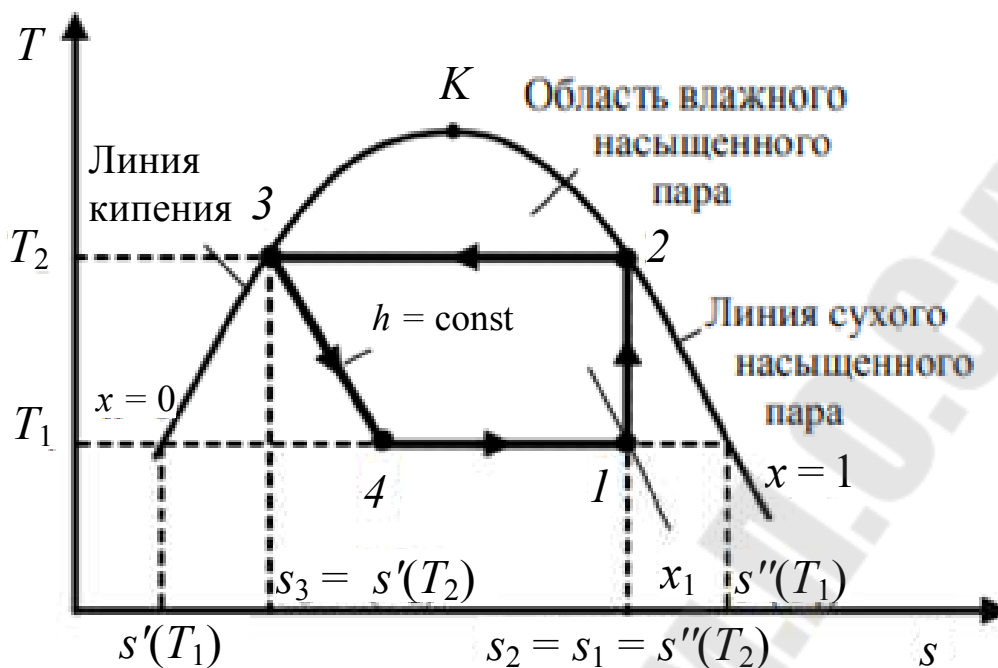


Рис. 4.3. Цикл теплового насоса:

1–2 – адиабатное сжатие хладагента в компрессоре;
 2–3 – отвод теплоты из конденсатора в систему отопления помещения ($P_2 = \text{const}$, $T_2 = \text{const}$); 3–4 – дросселирование;
 4–1 – подвод низкопотенциальной теплоты из окружающей среды к испарителю ($P_1 = \text{const}$, $T_1 = \text{const}$)

Методика расчета

Манометры измеряют избыточное давление (давление, превышающее атмосферное). Для определения абсолютного давления следует воспользоваться формулой

$$P = P_{\text{ман}} + P_a,$$

где P_a – атмосферное давление, измеренное барометром.

Соответственно

$$P_1 = P_{1\text{ман}} \cdot 10^5 + P_a, \text{ Па};$$

$$P_2 = P_{2\text{ман}} \cdot 10^5 + P_a, \text{ Па};$$

(1 МПа = 10^6 Па).

Определив температуры t_1 и t_2 , °С, и давление P_1 и P_2 , воспользуемся таблицей свойств насыщенных паров фреона-12 (табл. 4.5).

Из рис. 4.3 видно, что точка 2 лежит на линии сухого насыщенного пара:

$$h_2 = h''_{t_2}, \text{ кДж/кг}; \quad s_2 = s''_{t_2}, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Точка 3 лежит на линии кипения:

$$h_3 = h''_{t_2}, \text{ кДж/кг}; \quad s_3 = s''_{t_2}, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Процесс 3–4 – дросселирование; $h = \text{const}$, следовательно,

$$h_4 = h_3, \text{ кДж/кг}.$$

Для того чтобы найти параметры в точке 1, надо вначале найти степень сухости в этой точке. Это можно сделать исходя из того, что

$$s_1 = s_2, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}; \quad x_1 = \frac{s_1 - s'_{t_1}}{s''_{t_1} - s'_{t_1}}.$$

Значение x_1 находится в пределах 0,9–1 (для проверки). Тогда

$$h_1 = h''_{t_1} x_1 + h'_{t_1} (1 - x_1), \text{ кДж/кг}.$$

Удельное количество теплоты, отдаваемое конденсатором в систему отопления помещения:

$$q_1 = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг}.$$

Удельное количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю:

$$q_2 = h_1 - h_4, \text{ кДж/кг}.$$

Удельная работа цикла:

$$l = q_1 - q_2 = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг}.$$

В процессе дросселирования работа не производится, поэтому работа цикла равна работе компрессора. Мощность компрессора $N = 0,2$ кВт.

Расход хладагента $G = N/l$, кг/с, где N – кВт; l – кДж/кг.

Количество теплоты, отдаваемое конденсатором в систему отопления помещения: $Q_1 = q_1 G$, кВт.

Количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю: $Q_0 = q_0 G$, кВт.

Отопительный коэффициент: $\varepsilon = q_1/l$.

Значение отопительного коэффициента должно быть больше единицы. Это показывает, что в систему отопления помещения отдано теплоты больше, чем затрачено работы в ε раз за счет использования низкопотенциальной теплоты наружного воздуха. Это следует отразить в выводах.

Лабораторная работа № 5

Расчет энергетической и экономической эффективности применения тепловых насосов

Цель работы: определение энергетической эффективности применения тепловых насосов для утилизации тепловых вторичных энергетических ресурсов; определение срока окупаемости и величины доходности внедрения теплового насоса в систему горячего водоснабжения.

Общие сведения

Тепловые насосы (ТН) являются наиболее эффективным оборудованием, способствующим увеличению объема и глубины использования тепловых вторичных энергетических ресурсов (ТВЭР) промышленных предприятий. Для определения технической возможности и эффективности их применения необходимо иметь достоверную информацию о параметрах и режимах выхода ТВЭР, тепловых нагрузках и их продолжительности, показателях замещаемых тепловых источников, тенденциях изменения стоимости энергоносителей, ожидаемой технологической и экологической эффективности от внедрения систем утилизации и др.

При оценке технических показателей применения тепловых насосов тепловой потенциал ТВЭР делится на расчетный, используемый без ущерба для технологии и окружающей среды в течение часа ($Q_{ТВЭР}^p$, кВт), и располагаемый, используемый за год ($Q_{ТВЭР}^r$, ГДж). Их величины определяются по выражениям:

$$Q_{ТВЭР}^p = G_{ij} \rho C_i \Delta t_{ij} R / 3600;$$

$$Q_{ТВЭР}^r = \sum 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{ТВЭР}^p n_{ij},$$

где G_{ij} – объемный расход ТВЭР i -го вида в j -й период года, м³/ч; ρ – плотность вещества, составляющего поток ТВЭР i -го вида, кг/м³;

C_i – теплоемкость потока ТВЭР i -го вида, кДж/(кг °С); Δt_{ij} – средняя за j -й период года глубина охлаждения потока ТВЭР i -го вида, °С; R_{ij} – коэффициент, характеризующий доступность утилизации ТВЭР i -го вида в j -й период года; n_{ij} – продолжительность использования расчетного теплового потенциала ТВЭР i -го вида в j -й период года, ч.

При укрупненных расчетах теплопроизводительность тепловых насосов в системах утилизации ТВЭР ($Q_{\text{ТН}}^{\text{р}}$, кВт и $Q_{\text{ТН}}^{\text{г}}$, ГДж) при покрытии ими тепловых нагрузок различных видов определяется из соотношений:

– отопительно-вентиляционной нагрузки:

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{р}};$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{г}} = 1,33 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{г}};$$

– нагрузки горячего водоснабжения:

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{р}};$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{г}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{г}};$$

– при передаче теплоты в системы централизованного тепло-снабжения:

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{р}};$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{г}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{г}}.$$

Потребляемая мощность компрессора теплового насоса $N_{\text{ТН}}$, кВт, и годовой расход электрической энергии $\mathcal{E}_{\text{ТН}}^{\text{г}}$, МВт·ч, на выработку теплоты $Q_{\text{ТН}}^{\text{г}}$ определяются соотношениями:

$$N_{\text{ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} - Q_{\text{ТН}}^{\text{г}};$$

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}}^{\text{г}} = (Q_{\text{ТН}}^{\text{г}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{г}}) / 3,6.$$

Энергетическая эффективность применения тепловых насосов рассчитывается по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива ΔB , %, определяемой по выражению

$$\Delta B = [1 - (\eta_{\text{ТИ}} \eta_{\text{ТС}}) / (\eta_{\text{ЭН}} \eta_{\text{ЭС}} \varepsilon)] 100 \%,$$

где $\eta_{\text{ТИ}}$ – коэффициент полезного действия (КПД) действующего источника теплоснабжения; $\eta_{\text{ТС}}$ – КПД тепловой сети; $\eta_{\text{ЭН}}$ – КПД источника электрической энергии; $\eta_{\text{ЭС}}$ – КПД передачи и трансформации электрической энергии; ε – среднегодовой коэффициент преобразования теплового насоса.

Экономическую эффективность применения тепловых насосов можно определять по величине приведенных затрат, сроку окупаемости, уровню рентабельности, величине доходности и др.

Наиболее значимыми составляющими в расчетах экономической эффективности являются величины необходимых капитальных вложений на внедрение тепловых насосов и ожидаемой экономии ежегодных расходов на теплоснабжение.

Укрупненно затраты на приобретение и подсоединение тепловых насосов $K_{\text{ТНУ}}$ различных типов теплопроизводительности $Q_{\text{ТН}}^{\text{р}}$, включая периферийное оборудование, к теплосети можно определять по следующим выражениям:

1) для системы с тепловым насосом «вода–вода» и винтовым компрессором:

$$K_{\text{ТНУ}} = \begin{cases} 40000 + 152 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} & \text{при } 0 < Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} < 1044 \text{ кВт}; \\ 200000 + 128 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} (Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} - 1044) & \text{при } Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \geq 1044 \text{ кВт}; \end{cases}$$

2) для системы с тепловым насосом «вода-вода» и поршневым компрессором:

$$K_{\text{ТНУ}} = 58000 + 58 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \text{ при } Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \leq 700 \text{ кВт};$$

3) для системы с тепловым насосом «вода–вода/воздух» и поршневым компрессором:

$$K_{\text{ТНУ}} = 70000 + 13 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \text{ при } Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \leq 500 \text{ кВт};$$

4) для системы с тепловым насосом «воздух–вода» и спиральным компрессором:

$$K_{\text{ТНУ}} = 65400 + 263 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \text{ при } Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \leq 100 \text{ кВт};$$

5) для системы с тепловым насосом «вода–вода» и спиральным компрессором:

$$K_{\text{ТНУ}} = 7700 + 115 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \text{ при } Q_{\text{ТН}}^{\text{р}} \leq 300 \text{ кВт}.$$

Величина ожидаемой ежегодной экономии расходов \mathcal{E}^r при введении тепловых насосов определяется величиной тепловой нагрузки Q , продолжительностью использования расчетной теплопроизводительности тепловых насосов n , стоимостью энергоносителей C и др.

Укрупненно величина:

$$\mathcal{E}^r = \mathcal{E}_{\text{ТР}} - \mathcal{E}_{\text{ТН}}.$$

Величина $\mathcal{E}_{\text{ТР}}$ определяется по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{ТР}} = 3,385 \cdot n C_Q Q_{\text{ТН}}^p / 1000,$$

где C_Q – стоимость тепловой энергии, у. е./ГДж; n – продолжительность использования расчетного теплового потенциала ТВЭР в течение года.

Величина $\mathcal{E}_{\text{ТН}}$ определяется по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}} = 0,286 \cdot n C_{\mathcal{E}} Q_{\text{ТН}}^p,$$

где $C_{\mathcal{E}}$ – стоимость электрической энергии, у. е./кВт ч.

Используя значения $K_{\text{ТНУ}}$ и \mathcal{E}^r и задаваясь величиной процентной ставки по кредиту A , равной не более 0,5 ставки рефинансирования Национального банка Республики Беларусь, по нижеприведенным выражениям можно определить срок окупаемости $T_{\text{ОК}}$ и доходность D внедрения тепловых насосов:

$$T_{\text{ОК}} = K_{\text{ТНУ}} / \mathcal{E}^r;$$

$$D = 100 \cdot \mathcal{E}^r / (K_{\text{ТНУ}} (1 + A/100)).$$

Задача 1 (пример расчета)

Рассчитать и дать оценку энергетической и экономической эффективности применения теплового насоса в системе утилизации теплоты сточных (оборотных) вод. Потребитель теплоты, выработанной ТН, – горячее водоснабжение предприятия и прилегающих объектов. Используется ТН типа «вода–вода» со спиральным компрессором.

Исходные данные:

1. Объемный расход ТВЭР (сточных вод) составляет $G = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$.
2. Глубина охлаждения потока ТВЭР $\Delta t = 4 \text{ }^\circ\text{C}$.
3. Коэффициент доступности утилизации ТВЭР равен $R = 0,9$.

4. Расчетная продолжительность использования теплового потенциала ТВЭР $n = 5000$ ч.

5. Среднегодовой коэффициент преобразования ТН составляет $\varepsilon = 3,5$.

6. Коэффициент полезного действия действующего источника теплоснабжения равен $\eta_{ТИ} = 0,85$.

7. Коэффициент полезного действия тепловой сети $\eta_{ТС} = 0,9$.

8. Коэффициент полезного действия источника электрической энергии $\eta_{ЭН} = 0,33$.

9. Коэффициент полезного действия передачи и трансформации электрической энергии $\eta_{ЭС} = 0,9$.

10. Стоимость электрической энергии $C_{\text{э}} = 0,035$ у. е./кВт · ч.

11. Стоимость тепловой энергии $C_{\text{Q}} = 8,35$ у. е./ГДж.

12. Процентная ставка по кредиту $A = 15$ %.

Решение

1. Определим тепловой потенциал ТВЭР:

– расчетный, используемый в течение часа:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} &= G\rho C\Delta tR/3600 = \\ &= 40 \cdot 1000 \cdot 4,19 \cdot 4 \cdot 0,9/3600 = 167,6 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

– располагаемый, используемый в течение года:

$$Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \cdot n = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 167,6 \cdot 5000 = 3017 \text{ ГДж.}$$

2. Определим теплопроизводительность теплового насоса в системе утилизации ТВЭР при покрытии им тепловой нагрузки горячего водоснабжения:

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot 167,6 = 234,6 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}} = 1,45 \cdot 3017 = 4375 \text{ ГДж.}$$

3. Определим потребляемую мощность компрессора теплового насоса:

$$N_{\text{ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = 234,6 - 167,7 = 67 \text{ кВт.}$$

4. Находим годовой расход электрической энергии на выработку теплоты:

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}}^{\Gamma} = (Q_{\text{ТН}}^{\Gamma} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\Gamma}) / 3,6 = (4375 - 3017) / 3,6 = 377,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч.}$$

5. Энергетическую эффективность применения ТН определим по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива:

$$\begin{aligned} \Delta B &= [1 - (\eta_{\text{ТИ}} \eta_{\text{ТС}}) / (\eta_{\text{ЭН}} \eta_{\text{ЭС}} \varepsilon)] 100 \% = \\ &= [1 - (0,85 \cdot 0,9) / (0,33 \cdot 0,9 \cdot 3,5)] 100 \% = 26,4 \%. \end{aligned}$$

6. Определим укрупненно затраты на приобретение и подсоединение ТН и периферийного оборудования к теплосети. Для теплового насоса типа «вода–вода» со спиральным компрессором:

$$K_{\text{ТНУ}} = 7700 + 115 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 7700 + 115 \cdot 234,6 = 34679 \text{ у. е.}$$

7. Определим величину ожидаемой ежегодной экономии расходов \mathcal{E}^{Γ} при внедрении теплового насоса:

$$\mathcal{E}^{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{ТР}} - \mathcal{E}_{\text{ТН}}.$$

Значение $\mathcal{E}_{\text{ТР}}$ определим по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{ТР}} = 3,385 \cdot n C_{\text{Q}} \frac{Q_{\text{ТН}}^{\text{P}}}{1000} = 3,385 \cdot 5000 \cdot 8,35 \cdot \frac{234,6}{1000} = 33154 \text{ у. е.}$$

Значение $\mathcal{E}_{\text{ТН}}$ определим по выражению

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}} = 0,286 \cdot n C_{\text{Э}} Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 0,286 \cdot 5000 \cdot 0,035 \cdot 234,6 = 11741 \text{ у. е.}$$

Отсюда

$$\mathcal{E}^{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{ТР}} - \mathcal{E}_{\text{ТН}} = 33154 - 11741 = 21413 \text{ у. е.}$$

8. Срок окупаемости $T_{\text{ок}}$ теплового насоса равен:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{ТНУ}} / \mathcal{E}^{\Gamma} = 34679 / 21413 = 1,62 \text{ года.}$$

9. Величина доходности D от внедрения ТН в систему горячего водоснабжения предприятия составит:

$$\begin{aligned} D &= 100 \cdot \mathcal{E}^{\Gamma} / (K_{\text{ТНУ}} - (1 + A / 100)) = \\ &= 100 \cdot 21413 / (34639 - (1 + 15 / 100)) = 53,7 \%. \end{aligned}$$

Как следует из приведенного примера, применение теплового насоса энергетически и экономически обосновано, так как $AB = 26,4 \%$, $T_{ок} = 1,62$ года; $D = 53,7 \%$.

Задача 2 (для самостоятельного решения)

Рассчитать и дать оценку энергетической и экономической эффективности применения теплового насоса в системе утилизации теплоты сточных (оборотных) вод. Потребитель теплоты, выработанной ТН, – горячее водоснабжение предприятия и прилегающих объектов.

Исходные данные, необходимые для расчетов, представлены в табл. 5.1. Условные обозначения, используемые в задаче 2, одинаковы для задачи 1.

Таблица 5.1

Исходные данные

Параметры	Размерность	Варианты				
		I	II	III	IV	V
G	$\text{м}^3/4$	50	40	50	30	20
Δt	$^{\circ}\text{C}$	10	8	12	6	8
R	–	0,80	0,85	0,70	0,95	0,75
n	ч	5000	6000	7000	3000	4000
ε	–	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5
$\eta_{\text{ТИ}}$	–	0,85	0,80	0,87	0,75	0,70
$\eta_{\text{ТС}}$	–	0,90	0,85	0,90	0,85	0,80
$\eta_{\text{ЭН}}$	–	0,33	0,35	0,34	0,36	0,32
$\eta_{\text{ЭС}}$	–	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
$C_{\text{Э}}$	у. е./кВт · ч	0,035	0,040	0,030	0,025	0,045
C_{O}	у. е./ГДж	8,3	9,3	6,5	6,0	10,0
A	%	5	5	5	5	5
Тип ТН и тип компрессора	–	«Вода–вода» с поршневым компрессором	«Вода–вода»/воздух с поршневым компрессором	«Вода–вода» с винтовым компрессором	«Вода–вода»/«воздух» с поршневым компрессором	«Вода–вода» со спиральным компрессором

Лабораторная работа № 6

Расчет экономии электроэнергии в осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита

Цель работы: определение установленной мощности и годового потребления электроэнергии на освещение помещения; расчет экономии электроэнергии при проведении различных мероприятий, направленных на снижение энергопотребления.

Общие сведения

В связи с ростом цен на энергоносители актуальной становится проблема их экономии. Первый этап процесса экономии энергии – проведение комплексного энергетического обследования объекта (энергетического аудита) и разработка на его основе экономически целесообразных мероприятий по экономии энергии. Данные мероприятия разрабатываются для каждого отдельного типа потребителя энергии: отопление, освещение, вентиляция, технологические процессы и т. п. Сначала проводится анализ состояния систем энергопотребления, а затем – расчет экономии энергии по определенным методикам.

Система освещения является весомым потребителем электроэнергии, особенно в административных зданиях, где расходуется на освещение до 80 % электроэнергии от общего потребления.

Для анализа состояния системы освещения обследуемого объекта необходимо собрать следующую информацию:

- тип и количество существующих светильников;
- тип, количество и мощность используемых ламп;
- режим работы системы искусственного освещения;
- характеристики поверхностей помещений (коэффициенты отражения);
- год установки светильников;
- периодичность чистки светильников;
- фактический и нормированный уровень освещенности;
- значения напряжения электросети освещения в начале и в конце измерений освещенности;
- размеры помещения;
- средний фактический срок службы ламп;
- фактическое и нормированное значение коэффициента естественной освещенности.

Затем производится расчет показателей энергопотребления на основании вышеперечисленных данных, полученных в результате инструментального обследования объекта.

Установленная мощность, кВт, равна:

$$N_i = N_{\text{л}} K_{\text{ПРА}} n,$$

где N_i – мощность осветительной установки i -го помещения в исследуемом объекте; $N_{\text{л}}$ – мощность лампы; $K_{\text{ПРА}}$ – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре осветительных приборов; n – количество однотипных ламп в осветительной установке i -го помещения.

Годовое потребление электрической энергии, кВт, определяется по следующему выражению:

$$W_{\text{Г}} = \sum W_{\text{Г}_i} = \sum N_i T_{\text{Г}_i} k_{\text{и}_i},$$

где $W_{\text{Г}}$ – суммарное годовое потребление электроэнергии; $W_{\text{Г}_i}$ – годовое потребление электроэнергии осветительной установкой (ОУ) i -го помещения; $T_{\text{Г}_i}$ – число часов работы системы i -го помещения в год; $k_{\text{и}_i}$ – коэффициент использования установленной электрической мощности в ОУ i -го помещения.

Удельное годовое потребление электроэнергии, кВт · ч/м², равно:

$$W_{\text{Г}_{\text{уд}}} = W_{\text{Г}} / \sum S_i,$$

где $W_{\text{Г}_{\text{уд}}}$ – годовое удельное потребление электроэнергии; S_i – площадь i -го помещения в исследуемом объекте.

Для более точной оценки величины экономии электроэнергии по каждому из проводимых мероприятий необходимо выполнить расчет экономии электроэнергии по нижеприведенной методике.

Сначала определяем фактическое среднее значение освещенности $E_{\text{ф}}$, лк, с учетом отклонения напряжения в сети от номинального по выражению

$$E_{\text{ф}} = E_{\text{и}} U_{\text{н}} / (U_{\text{н}} + k(U_{\text{н}} - U_{\text{ср}})),$$

где $E_{\text{и}}$ – измеренная освещенность, лк; $U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение сети, В; $U_{\text{ср}}$ – среднее фактическое значение напряжения, В; $U_{\text{ср}} = (U_1 + U_2) / 2$. (U_1 и U_2 – значения напряжения сети соответственно в начале и конце измерения); k – коэффициент, учитывающий

изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети ($k = 4$ – для ламп накаливания; $k = 2$ – для газоразрядных ламп).

Для учета отклонения фактической освещенности от нормативных значений определяем коэффициент приведения:

$$k_{\text{п}i} = E_{\text{ф}i} / E_{\text{н}i},$$

где $k_{\text{п}i}$ – коэффициент приведения освещенности i -го помещения; $E_{\text{ф}i}$ – фактическое значение освещенности в i -м помещении; $E_{\text{н}i}$ – нормируемое значение освещенности в i -м помещении.

Потенциал годовой экономии электроэнергии, кВт · ч/год, в осветительной установке обследуемого помещения рассчитывается по формуле

$$W_{\Gamma} = \sum_i k_{\text{п}i} \sum_k \Delta W_i^k,$$

где ΔW_i^k – потенциал экономии электроэнергии для i -го помещения и k -го мероприятия, кВт · ч/год.

К основным мероприятиям, позволяющим экономить электроэнергию, относятся:

1. Переход на другой тип источника света с более высокой светоотдачей. Экономия электроэнергии, кВт · ч/год, в результате данного мероприятия определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} (1 - k_{\text{ис}i}),$$

где $k_{\text{ис}i}$ – коэффициент эффективности замены типа источника света;

$$k_{\text{ис}i} = C_0 / C_{0\text{н}},$$

где C_0 – светоотдача существующего источника света, лм/Вт; $C_{0\text{н}}$ – светоотдача предлагаемого к установке источника света, лм/Вт.

2. Повышение КПД существующих осветительных приборов вследствие их чистки.

Экономия электроэнергии, кВт · ч/год, в результате данного мероприятия определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} k_{\text{ч}i},$$

где $k_{\text{ч}i}$ – коэффициент эффективности чистки светильников.

Значение коэффициента эффективности чистки светильников определяется по выражению

$$k_{ч_i} = 1 - (\gamma_c + \beta_c e^{-(t/t_c)}),$$

где γ_c , β_c , t_c – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников (для рассматриваемой задачи принимаем $\gamma_c = 0,95$, $\beta_c = 0,054$ и $t_c = 360$); t – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками, дней.

3. Установка энергоэффективной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА).

Экономия электроэнергии, кВт · ч/год, в результате данного мероприятия определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{г_i} \left(1 - \left(\frac{k_{ПРА_i}^H}{k_{ПРА}} \right) \right),$$

где $k_{ПРА_i}$ – коэффициент потерь в ПРА существующих светильников системы освещения i -го помещения; $k_{ПРА_i}^H$ – коэффициент потерь в устанавливаемой ПРА.

4. Замена светильников является наиболее эффективным комплексным мероприятием, так как включает в себя замену ламп, повышение КПД светильника, оптимизацию светораспределения светильника и его расположения. Для точной оценки экономии электроэнергии необходимо производить светотехнический расчет освещенности для предполагаемых к установке светильников методом коэффициента использования или точечным методом. По расчетному значению установленной мощности (из светотехнического расчета) экономия электроэнергии (кВт · ч/год) определяется по формуле

$$\Delta W_i = W_{г_i} - N_i^H T_{г_i},$$

где N_i^H – установленная мощность после замены светильников; $T_{г_i}$ – годовое число часов работы системы искусственного освещения i -го помещения.

При упрощенной оценке (при замене светильников на аналогичные по светораспределению и расположению) расчет производится по следующей формуле

$$\Delta W_i = W_{\Gamma_i} (1 - k_{\text{св}_i}),$$

где $k_{\text{св}_i}$ – коэффициент, учитывающий повышение КПД светильника:

$$k_{\text{св}_i} = \eta_i / \eta_i^{\text{н}},$$

где η_i – паспортный КПД существующих светильников; $\eta_i^{\text{н}}$ – паспортный КПД предполагаемых к установке светильников.

В случае большого числа однотипных помещений в обследуемом здании, которое имеет схожие по параметрам, состоянию и мероприятиям по экономии электроэнергии осветительные установки, расчет производится с помощью удельных показателей экономии электроэнергии:

$$\Delta W_{\text{уд}}^j = \Delta W_i^j / S_i^j,$$

где $\Delta W_{\text{уд}}^j$ – удельная экономия электроэнергии для j -го типа помещения; ΔW_i^j – расчетная экономия электроэнергии для i -го помещения; S_i^j – площадь i -го помещения.

Общая экономия электроэнергии, кВт · ч, в системах освещения обследуемого объекта определяется по формуле

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{j=1}^m \Delta W_{\text{уд}}^j S^j,$$

где S^j – общая площадь помещений j -го типа; m – количество типов помещений.

Пример решения задачи по расчету экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений

Задача 1. Административное здание 1986 г. постройки имеет систему освещения финансового отдела, оснащенную светильниками типа ЛПО 02 2 × 40 с КПД $\eta = 52\%$. В светильниках используются лампы типа ЛБ 40 со светотдачей $C_0 = 75$ лм/Вт; количество светильников $n = 15$ шт. Размеры помещения $5 \times 15 \times 3$ м; нормированная освещенность $E_{\text{н}} = 300$ лк; измеренная освещенность $E_{\text{и}} = 275$ лк; количество часов работы искусственного освещения в год $T_{\Gamma} = 1300$ ч; номинальное напряжение сети $U_{\text{н}} = 220$ В, а во время измерений оно изменялось от $U_1 = 230$ В до $U_2 = 190$ В; коэффициент использования установленной электрической мощности $k_{\text{и}} = 0,92$; на момент измерений прошло $t = 360$ дней со дня последней чистки светильников.

В результате энергоаудита было рекомендовано заменить светильники на новые с электронной пускорегулирующей аппаратурой, коэффициентом потерь $K_{\text{ПРА}}^{\text{H}} = 1,1$ и КПД $\eta^{\text{H}} = 75\%$, оборудованные люминесцентными лампами TL-D 36/84 со световой отдачей $C_{0\text{H}} = 93$ лм/Вт.

Решение

1. Определим установленную мощность осветительной установки в помещении финансового отдела:

$$N = N_{\text{д}} K_{\text{ПРА}} n = 40 \cdot 1,2 (15 \cdot 2) = 1440 \text{ Вт.}$$

Коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре осветительных приборов с люминесцентными лампами $K_{\text{ПРА}} = 1,2$.

2. Годовое энергопотребление в этом помещении равно:

$$W_{\text{г}} = N T_{\text{г}} k_{\text{и}} = 1440 \cdot 1300 \cdot 0,92 = 1772 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

3. Определим экономию электроэнергии ΔW_1 за счет перехода на люминесцентные лампы с более высокой светоотдачей:

$$\Delta W_1 = W_{\text{г}} (1 - k_{\text{ис}}) = W_{\text{г}} \left(1 - \frac{C_0}{C_{0\text{H}}} \right) = 1772 \left(1 - \frac{75}{93} \right) = 337 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

4. Экономия электроэнергии ΔW_2 за счет чистки светильников: величина коэффициента эффективности чистки светильников равна (численные значения коэффициентов, входящих в выражение для определения $k_{\text{ч}}$, приведены выше):

$$k_{\text{ч}} = 1 - \left(\gamma_{\text{с}} + \beta_{\text{с}} e^{-\left(\frac{t}{t_{\text{с}}}\right)} \right) = 1 - \left(0,95 + 0,054 e^{-\left(\frac{360}{360}\right)} \right) =$$

$$= 1 - (0,95 + 0,02) = 0,03;$$

$$\Delta W_2 = W_{\text{г}} k_{\text{ч}} = 1772 \cdot 0,03 = 53 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

4. Определим экономию электроэнергии ΔW_3 вследствие установки электронной ПРА с коэффициентом потерь $K_{\text{пра}}^{\text{H}} = 1,1$:

$$\Delta W_3 = W_{\text{г}} \left(1 - \frac{K_{\text{ПРА}}^{\text{H}}}{K_{\text{ПРА}}} \right) = 1772 \left(1 - \frac{1,1}{1,2} \right) = 148 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

6. Определим экономию электроэнергии ΔW_4 за счет установки новых светильников с более высоким КПД, но с аналогичным светораспределением:

$$\Delta W_4 = W_{\Gamma}(1 - k_{\text{св}}) = W_{\Gamma} \left(1 - \frac{\eta}{\eta_{\text{н}}} \right) = 1772 \left(1 - \frac{52}{75} \right) = 543 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.}$$

7. Определим фактическое среднее значение освещенности $E_{\text{ф}}$ с учетом отклонения питающего напряжения в сети от номинальной величины:

– среднее фактическое значение напряжения за время измерения:

$$U_{\text{ср}} = \frac{(U_1 + U_2)}{2} = \frac{230 + 190}{2} = 210 \text{ В};$$

– фактическое среднее значение освещенности за время измерения:

$$\begin{aligned} E_{\text{ф}} &= E_{\text{н}} U_{\text{н}} / (U_{\text{н}} + k(U_{\text{н}} - U_{\text{ср}})) = \\ &= 275 \cdot 220 / (220 + 2(220 - 210)) = 252 \text{ лк.} \end{aligned}$$

8. Общий потенциал годовой экономии электроэнергии W_{Γ} в осветительной установке финансового отдела составит:

$$\begin{aligned} W_{\Gamma} &= k_{\text{н}} \sum \Delta W_i = \frac{E_{\text{ф}}}{E_{\text{н}}} (\Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_4) = \\ &= \frac{252}{300} (337 + 53 + 148 + 543) = 908 \text{ кВт} \cdot \text{ч/год.} \end{aligned}$$

Задача для самостоятельного решения

Задача 2. Административное здание имеет систему освещения помещений, оснащенную светильниками типа ЛПО 02 2×40 с КПД $\eta = 52 \%$. Коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре $K_{\text{ПРА}} = 1,2$. Светильники работают от электросети с номинальным напряжением $U_{\text{н}} = 220 \text{ В}$. В светильниках используются лампы типа ЛБ 40 со светоотдачей $C_0 = 75 \text{ лм/Вт}$. Коэффициент использования установленной электрической мощности $k_{\text{н}} = 0,92$.

Количество светильников в обследуемом помещении n штук; нормированная освещенность равна $E_{\text{н}}$, лк, а измеренная – $E_{\text{и}}$, лк.

Количество часов работы искусственного освещения в год равно T_r , ч. Напряжение в электросети во время измерений освещенности изменялось от величины U_1 до U_2 В; на момент измерений прошло t дней со дня последней чистки светильников.

В результате энергоаудита было рекомендовано заменить светильники на новые, имеющие КПД, равный η^n , электронную пуско-регулирующую аппаратуру с коэффициентом потерь, равным $K_{\text{ПРА}}^n$, а также оборудованные люминесцентными лампами со световой отдачей C_{0_n} .

Исходные данные для расчета даны в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные

Параметр	Размерность	Варианты				
		I	II	III	IV	V
E_n	лк	300	350	400	350	450
$E_{и}$	лк	250	300	320	280	380
n	шт.	15	17	20	16	23
U_1	В	220	220	235	230	225
U_2	В	200	210	200	190	195
C_{0_n}	лм/Вт	90	85	93	95	100
t	дней	150	200	300	200	350
$K_{\text{пра}}^n$	—	1,05	1,10	1,15	1,12	1,08
η^n	%	70	75	80	85	78
T_r	ч	1400	1500	1600	1450	1550

Лабораторная работа № 7

Исследование сравнительных характеристик электрических источников света

Цель работы: изучение устройства, принципа, действия и сравнение основных параметров наиболее распространенных типов электрических источников света.

Общие сведения

Свет представляет собой электромагнитные волны длиной $4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-7}$ м. Электрические волны излучаются при ускоренном движении заряженных частиц. Для того чтобы атом или молекула начали излучать, им необходимо передать определенное количество энергии. Излучая, они теряют полученную энергию, поэтому для непрерывного свечения необходим постоянный приток энергии извне.

Поток излучения $\Phi_{\text{изл}}$ – энергия, переносимая электромагнитными волнами за 1 с через произвольную поверхность. Единица измерения потока излучения – Дж/с = Вт.

Энергетическая освещенность $E_{\text{эн}}$ (плотность потока излучения) – отношение потока излучения к площади равномерно облучаемой им поверхности. Единица измерения энергетической освещенности – Вт/м².

Световой поток Φ – поток излучения, оцениваемый по его воздействию на человеческий глаз. Человеческий глаз неодинаково чувствителен к потокам света с различными длинами волн (наиболее чувствителен глаз при дневном освещении к свету с длиной волны 555 нм). Единицей измерения светового потока с точки зрения восприятия его человеческим глазом (яркости) является люмен (лм). Световой поток в 1 лм белого света равен $4,6 \cdot 10^{-3}$ Вт (1 Вт = 217 лм).

Освещенность E – отношение светового потока, падающего на поверхность, к площади этой поверхности. Измеряется в люксах (лк), где люкс – освещенность, при которой на 1 м² поверхности равномерно распределен световой поток в 1 лм.

Освещенность поверхности прямо пропорциональна световому потоку и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника.

Тепловое излучение – наиболее распространенный вид излучения. При этом потери атомами или молекулами энергии на излучение света компенсируются за счет энергии их теплового движения. Чем выше температура тела, тем быстрее движутся атомы или молекулы. При столкновении друг с другом часть их кинетической энергии превращается в энергию возбуждения, которая затем превращается в световую.

Люминесцентное излучение исходит из сравнительно небольшого числа центров люминесценции – атомов, молекул или ионов, приходящих в возбужденное состояние под воздействием внешних

причин, а затем при переходе возбужденного центра на более низкий энергетический уровень испускающих квант люминесцентного излучения. Вещества, в которых происходит люминесценция, называются люминофорами.

Электрические источники света, их конструкции и параметры

Электрическими источниками света являются лампы накаливания и газоразрядные.

Важнейшими характеристиками ламп являются:

- номинальное напряжение;
- потребляемая мощность;
- световой поток (мощность видимого излучения, измеряемая в люменах);
- средний срок службы.

Экономичность лампы оценивают световой отдачей – значением светового потока, приходящегося на единицу мощности лампы (лм/Вт). Для ламп накаливания световая отдача составляет 7–19 лм/Вт, для люминесцентных – 40–80 лм/Вт.

Лампа накаливания была изобретена А. Н. Лодыгиным в 1873 г. До сих пор нет устройства с подобным спектром излучения. По этой причине наблюдается широкое применение ламп накаливания. Принцип действия ламп накаливания основан на вышеописанном тепловом излучении. Использование этого принципа обуславливает основные недостатки ламп накаливания, а именно:

- низкий КПД (около 2 %), так как подавляющая часть потребляемой электроэнергии этими лампами преобразуется не в световую, а в тепловую энергию;
- низкий срок службы, который в среднем составляет около 1000 ч, ограничиваемый сроком службы спирали, которая работает при высоких температурах. Срок службы ламп накаливания снижается при их вибрациях, частых включениях и отключениях, отклонении от вертикального положения.

Кроме того, свет ламп накаливания отличается от естественного преобладанием лучей желто-красной части спектра, что искажает естественную расцветку предметов.

Несмотря на указанные недостатки, в настоящее время лампы накаливания находят все еще широкое распространение в связи с их

простотой в эксплуатации, надежностью, компактностью и низкой стоимостью.

Лампы накаливания могут быть вакуумными и газонаполненными. В последних используется аргон с добавлением 12–15 % азота.

Разновидностью ламп накаливания являются галогенные лампы, основное отличие которых заключается в повышенном сроке службы, как правило, до 2000 ч. Это достигается за счет того, что в состав газового заполнения колбы галогенной лампы накаливания добавляется йод, который при определенных условиях обеспечивает обратный перенос испарившихся частиц вольфрама спирали со стенок колбы лампы на тело накала.

Газоразрядные лампы отличаются более высокой светоотдачей, так как в них электрическая энергия преобразуется в энергию оптического излучения за счет электрического разряда в газах или парах металлов.

Люминесцентная лампа представляет собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. Из лампы откачан воздух, и она заполнена инертным газом аргоном при очень низком давлении. В лампу помещена капля ртути, которая при нагревании превращается в ртутные пары. Вольфрамовые электроды лампы, как правило, имеют вид спирали. Параллельно спирали располагаются два жестких никелевых электрода, каждый из которых соединен с одним из концов спирали. При подаче на электроды напряжения в газовой среде лампы возникает электрический разряд, в частности, между жесткими электродами и спиралью, который дальше распространяется на всю полость лампы.

В цилиндрическом баллоне ртутной лампы идет электрический разряд. Возбужденные атомы ртути испускают мощные потоки электромагнитного излучения, основная энергия которого лежит в ультрафиолетовой части спектра. Под действием ультрафиолетового излучения происходит свечение покрытых люминофором стенок лампы разным цветом. Поглощая ультрафиолетовое излучение, смесь люминофоров излучает свет в видимой части спектра и в достаточной степени воспроизводит спектр дневного света.

Газоразрядные лампы работают со специальными пускорегулирующими аппаратами и подразделяются на люминесцентные лампы низкого и высокого давления.

Люминесцентные лампы меньше расходуют электроэнергии, срок их службы – в 5 раз больше по сравнению с лампами накаливания. Однако лампы дневного света не вытеснили лампы накаливания, имеющие существенные недостатки. Создаваемый холодным свечением дискомфорт усугубляется стробоскопическим эффектом (мерцание ламп). Кроме того, пусковое устройство оборудования светильников производит шумы различной частоты, которые вызывают повышенную утомляемость организма. Дроссельная пускорегулирующая аппаратура обеспечивает возможность питания ламп дневного света от источников электротока частотой 50 Гц.

Одно из решений, устраняющих недостатки как ламп накаливания, так и люминесцентных ламп, – применение электронных пускорегулирующих устройств (ЭПРУ). Оно обеспечивает работу лампы дневного света со свечением частотой 30–40 кГц, что позволяет создавать энергоэкономичные системы внутреннего освещения. Сокращение расхода электроэнергии происходит в результате значительного повышения напряжения питания люминесцентных ламп при помощи ЭПРУ. Так, ЭПРУ обеспечивая частоту 30–40 кГц, обуславливает потребление лампой всего 9 Вт электрической мощности вместо 60 Вт, нужных для развития равной по величине светоотдачи ламп накаливания. Срок службы лампы возрастает до 8000 ч.

В странах СНГ не менее 10 % вырабатываемой электроэнергии потребляется при освещении жилых и непроизводственных служебных помещений лампами накаливания. С учетом вышеизложенного их повсеместная замена в указанных помещениях люминесцентными лампами позволяет снизить требуемое количество вырабатываемой электроэнергии на 7 %. В частности, для Республики Беларусь при этом в абсолютных числах ежегодная экономия электроэнергии будет составлять не менее 4 млрд кВт · ч.

Экспериментальная установка

На рис. 7.1 приведена схема экспериментальной установки, которая включает: 1 – лампу накаливания; 2 – люминесцентную лампу, работающую с частотой 35000 Гц; 3 – ваттметр для измерения потребляемой лампами из сети электрической мощности; 4 – выключатели; 5 – прибор для измерения освещенности – люксметр типа ЛК-3.

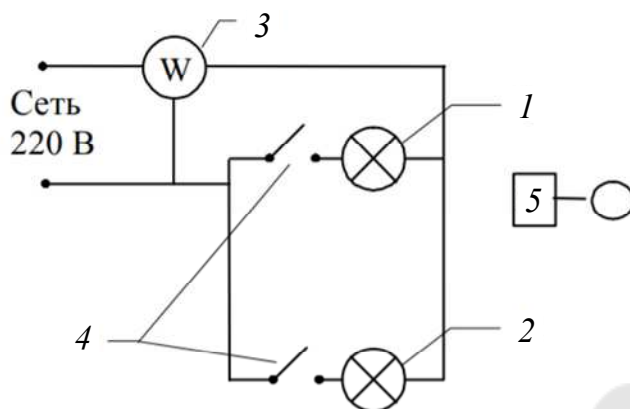


Рис. 7.1. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

Лабораторную работу необходимо выполнять в следующем порядке:

1. Выключателем 4 включить лампу накаливания. Люксметром 5 измерить величину освещенности на поверхности включенного светильника в пяти точках.

2. По ваттметру 3 определить величину потребляемой лампой накаливания мощности из сети.

3. Выключить лампу накаливания.

4. Выключателем 4 включить люминесцентную лампу и произвести для нее аналогичные измерения.

5. Полученные данные занести в табл. 7.1. Исходные данные, необходимые для расчетов, приведены в табл. 7.2 (л. н. – лампа накаливания; л. л. – люминесцентная лампа).

Таблица 7.1

Результаты измерений и вычислений

Параметры	Источник света	
	Лампа накаливания	Люминесцентная лампа
Освещенность E , лк, на поверхности светильника в точках	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
Расчетное значение освещенности $\bar{E} = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5}{5}$, лк		

Параметры	Источник света	
	Лампа накаливания	Люминесцентная лампа
Расчетное значение светового потока $\Phi = \bar{E}S$, лм		
Поток излучения $\Phi_{\text{изл}} = \Phi/217$, Вт		
Потребляемая мощность N , Вт		
КПД источника света $\eta = \frac{\Phi_{\text{изл}}}{S}$, Вт/м ²		
Плотность потока излучения (энергетическая освещенность) $E_{\text{эн}} = \frac{\Phi_{\text{изл}}}{S}$, Вт/м ²		
Световая отдача $C_0 = \frac{\Phi}{N}$, лм/Вт		

6. Определить поверхность цилиндрического светильника, м², по формуле

$$S = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dh,$$

где d – диаметр светильника, м; $d = 0,095$ м; h – высота светильника, м; $h = 0,145$ м.

7. По результатам расчетов сделать вывод об экономичности рассмотренных источников света и целесообразности их использования.

Таблица 7.2

Исходные данные

Наименование параметра		Варианты заданий									
		I		II		III		IV		V	
		л. н.	л. л.	л. н.	л. л.	л. н.	л. л.	л. н.	л. л.	л. н.	л. л.
Освещенность E , лк, на поверхности светильника в точках	1	1700	700	1850	850	2000	1000	2400	1200	2700	1400
	2	1900	1500	2050	1650	2200	1800	2600	2000	2800	2200
	3	1800	1050	1950	1200	2100	1350	2500	1550	3200	1750
	4	2400	1450	2550	1600	2700	1750	2900	1950	3700	2150
	5	2500	1875	2650	2025	2800	2175	3300	2350	3860	2575
Потребляемая мощность N , Вт		25	5	26	5,1	27	5,3	30	5,9	36	6,5

Лабораторная работа № 8

Определение дисперсности пыли

Цель работы: ознакомление с методами определения дисперсности пыли, определение ее методом ситового анализа и методом микроскопии.

Общие сведения

Пыль является одним из видов веществ в измельченном (дисперсном) состоянии, взвешенных в газовой, в частности, в воздушной среде. Понятию «пыль» близки понятия «туман», «дым», которые вместе с пылью объединяются общим термином «аэрозоль». На практике трудно провести четкую границу между различными видами аэрозолей (пыль, туман, дым). Это объясняется тем, что часто возникают аэрозольные системы, состоящие из частиц различного происхождения. Кроме того, происходит непрерывное взаимодействие этих частиц, осаждение малых частиц на более крупных.

Интервал дисперсности аэрозольных частиц велик – от 10^7 до 10^{17} см. Нижний предел определяется возможностью длительного самостоятельного существования малых частиц, верхний предел ограничен тем, что крупные частицы быстро осаждаются под действием силы тяжести и во взвешенном состоянии практически не наблюдаются.

К пыли естественного происхождения относят пыль, образованную в результате эрозии почвы, при выветривании горных пород и т. д. Естественное происхождение имеют органические пылевидные частицы – пыльца, споры растений. К пыли естественного происхождения близка по составу пыль, возникающая при выветривании строительных конструкций, дорог и других сооружений.

Неорганическая пыль подразделяется на минеральную (кварцевая, цементная и др.) и металлическую (стальная, чугунная, медная, алюминиевая и др.).

Кроме физических и химических свойств дисперсный состав определяет характер и условия распространения пыли в воздушной среде. При тонкой дисперсности пыль более долговечна, так как осаждается значительно медленнее или практически совсем не осаждается. Таким образом, сфера рассеивания пылевых частиц зависит от дисперсного состава пыли. Основной вопрос пылеулавливания – выбор эффективного пылеочистного оборудования – определяется дисперсным составом улавливаемой пыли.

Различные по размерам частицы подчиняются различным физическим законам. Перемещение частиц различных размеров происходит по законам гравитации, закону Стокса, законам броуновского движения.

Применяют следующие методы определения дисперсного состава пыли:

– ситовый анализ – разделение частиц на фракции путем последовательного просеивания навески пыли через лабораторные сита с отверстиями различных размеров;

– седиментометрия – разделение навески пыли на отдельные фракции путем ее осаждения в жидкой или газообразной среде;

– микроскопический метод – рассмотрение пылевых частиц с помощью оптического или электронного микроскопа, определение формы частиц, их размера и количества по фракциям;

– центробежная сепарация – разделение пыли на фракции с помощью центробежной силы в специальном аппарате.

Ситовый анализ. Пробу (навеску) пыли разделяют на фракции, последовательно просеивая ее через сито с отверстиями разного размера.

Наименьший размер отверстий в ситах – 40 мкм. Таким образом, ситовым методом можно определить дисперсный состав пыли с размером частиц выше 40 мкм и невозможно определить распределение пылевых частиц в области более тонких фракций, представляющих наибольшую опасность. В этом недостаток ситового метода. Применяют ручной и механический просев. Ручной просев обычно используют при исследовательской работе, а также для ответственных производственных анализов.

Седиментометрический метод анализа. Основан на том, что время осаждения пылевых частиц в жидкой среде зависит от их размера, выраженного через эквивалентный диаметр. Эквивалентный диаметр – это диаметр шара, имеющего такую же массу и плотность, как и данная частица.

Приборы и оборудование

Применяется следующее оборудование и приборы: механический ситовый анализатор 028М, лабораторные весы; оптический микроскоп, окулярный и объективный микрометры, предметное стекло.

Порядок выполнения работы

Лабораторную работу необходимо выполнять в следующем порядке:

1. Определить дисперсный состав пыли методом ситового анализа с помощью ситового анализатора, состоящего из 11 сит (рис. 8.1).

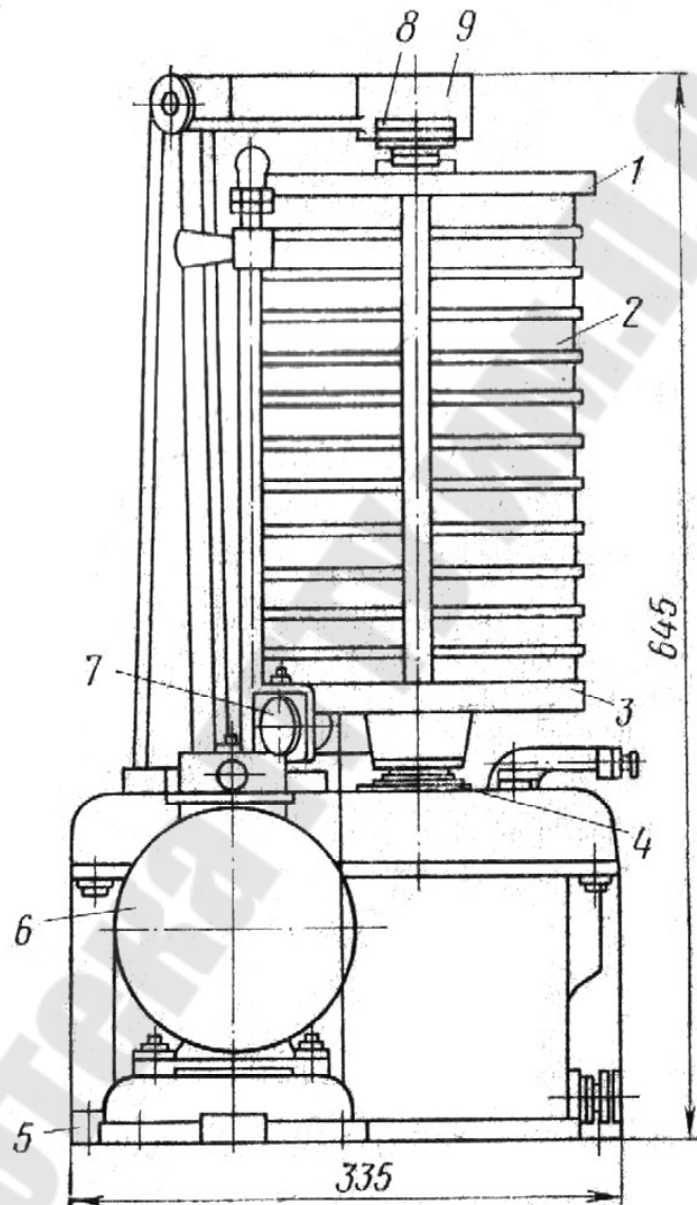


Рис. 8.1. Механический ситовый анализатор 028М:

- 1 – крышка; 2 – набор сит; 3 – столик;
- 4 – эксцентриковый вал; 5 – станина прибора;
- 6 – электродвигатель; 7 – кулиса;
- 8 – винты; 9 – рычаг

2. Приготовить навеску пыли 200 г.
3. Высыпать пыль на верхнее сито прибора; закрыть крышку.
4. Включить анализатор, провести встряхивание в течение 8 мин.
5. Выключить установку и разобрать сита.
6. Взвесить остатки пыли на каждом сите.
7. Определить процентное содержание пыли на каждом сите и сделать заключение о распределении данной пробы пыли по фракциям.
8. Определить дисперсный состав пыли методом микроскопии.
9. Приготовить препараты пыли для рассмотрения под микроскопом. Их можно приготовить двумя способами: по методу осветления фильтров или запылением предметного стекла. В первом случае запыленный фильтр из материала ФПП-15 подвергают воздействию паров ацетона. Материал фильтра расплавляется, образуя прозрачную пленку, и фиксирует частицы пыли. Для приготовления препарата пылей, которые взаимодействуют с растворителем, этот метод непригоден.

В данной работе препарат для микроскопирования приготовлен другим способом: предметное стекло, сухое или покрытое липким прозрачным веществом (желатин из агар-агара), запыляют, а затем накрывают покровным стеклом.

10. Определить цену деления окулярной микрометрической линейки по шкале объективного микрометра.

Объективный микрометр представляет собой прямоугольную стеклянную пластинку с нанесенной на ней шкалой. Размеры делений шкалы обозначаются на пластинке объективного микрометра. В работе используется объективный микрометр со шкалой в 1 мм, разделенной на сто частей, т. е. так, что каждое деление равно 0,001 мм или 10 мкм.

На предметный столик микроскопа помещают объективный микрометр.

При слабом увеличении устанавливают шкалу объективного микрометра в центре поля зрения, затем изменяют установку на большее увеличение и в окуляр микроскопа вставляют окулярный микрометр.

Двигая объективный или окулярный микрометр, добиваются совпадения их шкал (рис. 8.2).

11. Результаты измерения размеров частиц пыли занести в табл. 8.1.

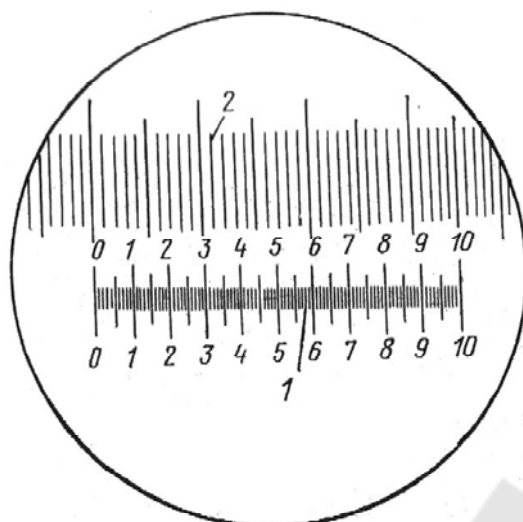


Рис. 8.2. Измерение величины окулярной микрометрической линейки:

1 – окулярная микрометрическая линейка;
2 – объектив-микрометр

Таблица 8.1

Результаты измерения размеров частиц пыли

Размер частиц, мкм	< 1	1–5	5–10	10–25	> 25
Число частиц фракции n , шт.					
Доля частиц определенной фракции d , %					

Литература

1. Андрижевский, А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент : учеб. пособие / А. А. Андрижевский, В. И. Володин. – Минск : Выш. шк., 2005. – 294 с.
2. Андриевский, А. П. Основы энергосбережения : учеб.-метод. комплекс для студентов / А. П. Андриевский. – Новополоцк : ПГУ, 2011. – 200 с.
3. Гридэл, Т. Е. Промышленная экология : учеб. пособие для вузов / Т. Е. Гридэл, Б. Р. Алленби ; пер. с англ. под ред. Э. В. Гирусова. – М. : Юнити, 2004. – 513 с.
4. Мархоцкий, Я. Л. Основы экологии и энергосбережения : учеб. пособие / Я. Л. Махоцкий. – Минск : Выш. шк., 2014. – 286 с.
5. Сергейчик, С. А. Экология : учеб. пособие / С. А. Сергейчик. – Минск : Современ. шк., 2010. – 389 с.
6. Федорук, А. Т. Экология : учеб. пособие для вузов / А. Т. Федорук. – 2-е изд. – Минск : Выш. шк., 2013. – 461 с.
7. Челноков, А. А. Общая и прикладная экология : учеб. пособие / А. А. Челноков, К. Ф. Саевич, Л. Ф. Ющенко ; под общ. ред. К. Ф. Саевича. – Минск : Выш. шк., 2014. – 656 с.
8. Экологические проблемы и энергосбережение : учеб. пособие для вузов / под общ. ред. В. Д. Карминского. – М. : Маршрут, 2004. – 591 с.

Содержание

<i>Лабораторная работа № 1. Прямое преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую</i>	3
<i>Лабораторная работа № 2. Изучение принципа преобразования энергии ветра в электрическую энергию</i>	10
<i>Лабораторная работа № 3. Топливо-энергетические ресурсы</i>	17
<i>Лабораторная работа № 4. Цикл теплового насоса</i>	26
<i>Лабораторная работа № 5. Расчет энергетической и экономической эффективности применения тепловых насосов</i>	36
<i>Лабораторная работа № 6. Расчет экономии электроэнергии в осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита</i>	43
<i>Лабораторная работа № 7. Исследование сравнительных характеристик электрических источников света</i>	50
<i>Лабораторная работа № 8. Определение дисперсности пыли</i>	57
<i>Литература</i>	62

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Практикум

**по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей 1-36 01 05 «Машины
и технология обработки материалов давлением»
и 1-42 01 01 «Металлургическое производство
и материалобработка (по направлениям)»
дневной и заочной форм обучения**

Составитель Русая Людмила Николаевна

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Т. Н. Мисюрова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 07.12.22.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 4,16.

Изд. № 4.

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение
Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого.
Свидетельство о гос. регистрации в качестве издателя
печатных изданий за № 1/273 от 04.04.2014 г.
пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель