



---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**Белорусский национальный технический университет**

**Кафедра «Геотехника и строительная механика»**

# **ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА**

**Учебно-методическое пособие**

**Минск**  
**БНТУ**  
**2024**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Геотехника и строительная механика»

ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ  
ПРОИЗВОДСТВА

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальностей

1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»,  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,  
1-27 01 01 «Экономика и организация производства»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск  
БНТУ  
2024

УДК 504.064.2  
ББК 31.15  
У47

**А в т о р ы:**

*Т. М. Уласик, А. М. Бубнова, Л. Ю. Медведев,  
И. А. Бусел, В. Г. Мякота*

**Р е ц е н з е н т ы:**

ведущий научный сотрудник РУП «Институт БелНИИС»  
Министерства строительства и архитектуры Республики  
Беларусь, канд. техн. наук, доцент *В. Н. Кравцов*;  
кафедра «Строительных конструкций»  
Полоцкого государственного университета  
(зав. кафедрой *А. Н. Хаткевич*,  
канд. техн. наук, доцент кафедры *А. П. Кремнёв*)

**У47 Основы** эколого-энергетической устойчивости производства :  
учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-70 01 01  
«Производство строительных изделий и конструкций», 1-70 02 01  
«Промышленное и гражданское строительство», 1-27 01 01 «Эконо-  
мика и организация производства» / Т. М. Уласик [и др.]. – Минск :  
БНТУ, 2024 – 47 с.  
ISBN 978-985-583-949-2.

Основной целью выработки у будущих инженеров-строителей является приобрете-  
ние навыков оценки расхода условного топлива и местных видов топлива  
для их эффективного сжигания с помощью теплоэнергетического оборудования оте-  
чественного производства.

В издании рассмотрена методика расчета выбросов автотранспорта на городских  
магистральных, истощения природных ресурсов, потерь тепловой энергии через наруж-  
ные ограждения производственных помещений; указаны пути предотвращения и  
уменьшения необоснованных потерь энергии.

**УДК 504.064.2  
ББК 31.15**

**ISBN 978-985-583-949-2**

© Белорусский национальный  
технический университет, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Лабораторная работа № 1. Определение выбросов автотранспорта на городских магистралях .....	5
Лабораторная работа № 2. Основы расчета расхода топлива .....	16
Лабораторная работа № 3. Основы расчета потерь тепловой энергии через наружные ограждения.....	23
Лабораторная работа № 4. Природные ресурсы.....	37
Контрольные вопросы для проверки готовности к занятию .....	43
Индивидуальное расчетно-практическое задание по «Основам эколого-энергетической устойчивости производства» для управляемой самостоятельной работы .....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ. Теплофизические характеристики строительных материалов.....	45
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	47

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания содержат основные теоретические сведения и расчетные формулы, примеры расчетов и условия задач применительно к конкретным процессам экономии тепловой энергии и для наиболее эффективного использования местных видов топлива и отечественного теплоэнергетического оборудования.

Самостоятельная работа оформляется на листах формата А4 либо в тетради в клетку и должна состоять из титульного листа, условия и решения задачи, списка использованной литературы.

На титульном листе следует указать наименования университета, факультета, кафедры; задание, фамилию и инициалы студента; номер группы и вариант, а также год выполнения работы.

Условие задачи и исходные данные необходимо записать в полном объеме, используя табличную форму. Номер варианта определяется по номеру каждого студента в учебном журнале либо устанавливается лично преподавателем.

Решение задач следует сопровождать кратким пояснением с указанием литературных источников и номеров страниц, на которых приведены используемые уравнения или справочные данные.

Расчеты производятся в соответствии с Международной системой единиц. Результаты расчетов выражаются числовыми значениями с указанием единиц измерения. При записи числового значения необходимо использовать правила округления чисел.

## Лабораторная работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТА НА ГОРОДСКИХ МАГИСТРАЛЯХ

**Цель работы:** научиться оценивать величину выбросов загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортными потоками на городских магистралях.

#### Теоретические сведения

Основным источником загрязнения атмосферы в городе является автотранспорт. Так, в Минске на долю автотранспорта приходится 80 % загрязнений атмосферы, в Москве – 90 %.

Автотранспорт как источник загрязнения воздуха имеет свои особенности:

- количество автотранспорта интенсивно увеличивается;
- автотранспорт – движущийся источник, который встречается на строительных площадках на территории больниц, санаториев, в охранных зонах и т. д.;
- выхлопные газы автомобилей содержат около 200 наименований выбросов и из них только 6 являются нетоксичными.

Загрязняющие атмосферу вещества классифицируются следующим образом:

- *раздражающие* – вызывают ответную реакцию живых организмов;
- *токсичные* (от греч. «токсикон» – яд) – оказывают вредное воздействие на организмы (окислы серы и азота; фенол, сероводород, сероуглерод, угарный газ, формальдегид, бенз(а)пирен, свинец, пары бензина);
- *сенсibiliзирующие* (от лат. *sensibilis* – чувствительный) – повышают чувствительность организма к воздействию химических соединений и лежат в основе аллергии (пыль, пух, нитраты);
- *мутагенные* – вызывают изменение наследственных свойств в организме в результате нарушений в генетическом материале (безн(а)пирен, формальдегид, свинец);
- *канцерогенные* (от лат. *cancer* – рак) – вызывают образование раковых клеток и опухолей (бенз(а)пирен, пыль, формальдегид, бензол);

– *тератогенные* (от гр. «*тератос*» – чудовище) – вызывают формирование аномалий и уродств в процессе эмбрионального развития (диоксины, фураны, бенз(а)пирен).

Последствиями загрязнения атмосферы являются: ухудшение здоровья людей; разрушение строительных материалов и конструкций, коррозия металла; замедление роста зеленых насаждений; изменение климатических условий.

Для оценки величин выбросов загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортными потоками на городских магистралях используются результаты натурных обследований структуры и интенсивности автотранспортных потоков с разделением на основные категории автотранспортных средств.

Усредненные удельные значения показателей выбросов отражают основные закономерности их изменения при реальном характере автотранспортного движения в городских условиях, определяемых целесообразным выбором передаточного отношения от двигателя к трансмиссии. При этом учитывается, что в городе автомобиль совершает непрерывно разгоны и торможения, перемещаясь с некоторой средней скоростью на конкретном участке автомагистрали, определяемой дорожными условиями.

Расчеты выбросов выполняются для следующих вредных веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами автомобилей: оксид углерода (СО); оксиды азота  $\text{NO}_x$  (в пересчете на диоксид азота); углеводороды (СН); сажа; диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ); соединения свинца; формальдегид; бенз(а)пирен.

### ***Расчет выбросов загрязняющих веществ автотранспортом***

Выброс  $i$ -го вредного вещества автотранспортным потоком (MLi) определяется для конкретной автомагистрали, на всей протяженности которой структура и интенсивность автотранспортных потоков изменяется не более чем на 20–25 %. При изменении автотранспортных характеристик на большую величину автомагистраль разбивается на участки, которые в дальнейшем рассматриваются как отдельные источники. Такая магистраль (или ее участок) может иметь несколько регулируемых и нерегулируемых перекрестков.

В районе перекрестка выбрасывается наибольшее количество вредных веществ за счет торможения и остановки автомобиля перед

запрещающим сигналом светофора и последующим его движением в режиме «разгона» по разрешающему сигналу светофора.

Это обуславливает необходимость выделения на выбранной автомагистрали участков перед светофором, на которых образуется очередь автомобилей, работающих на холостом ходу в течение времени действия запрещающего сигнала светофора.

Таким образом, для автомагистрали (или ее участка) при наличии регулируемого перекрестка суммарный выброс  $M$  будет равен:

$$M = \sum_1^n (M_{\Pi_1} + M_{\Pi_2}) + M_{L_1} + M_{L_2} + \sum_1^m (M_{\Pi_3} + M_{\Pi_4}) + M_{L_3} + M_{L_4}, \quad (1.1)$$

где  $M_{\Pi_1}, M_{\Pi_2}, M_{\Pi_3}, M_{\Pi_4}$  – выбросы в атмосферу автомобилями, находящимися в зоне перекрестка при запрещающем сигнале светофора;

$M_{L_1}, M_{L_2}, M_{L_3}, M_{L_4}$  – выбросы в атмосферу автомобилями, движущимися по данной автомагистрали в рассматриваемый период времени;

$n$  и  $m$  – число остановок автотранспортного потока перед перекрестком соответственно на одной и другой улицах его образующих за 20-минутный период времени;

индексы 1 и 2 соответствуют каждому из 2-х направлений движения на автомагистрали с большей интенсивностью движения, а 3 и 4 – соответственно для автомагистрали с меньшей интенсивностью движения.

### ***Расчет выбросов движущегося автотранспорта***

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества (г/мин) движущимся автотранспортным потоком на автомагистрали (или ее участке) с фиксированной протяженностью  $L$  (км) определяется по формуле:

$$M_{L_i} = \frac{L}{60} \sum_1^k M_{k,i}^{\Pi} N k_V, \quad (1.2)$$

где  $M_{k,i}^{\Pi}$  (г/км) – пробеговый выброс  $i$ -го вредного вещества автомобилями  $k$ -й группы для городских условий эксплуатации, определяемый по табл. 1.1;



$k$  – количество групп автомобилей;

$N$  (1/час) – фактическая наибольшая интенсивность движения, т. е. количество автомобилей каждой из  $K$  групп, проходящих через фиксированное сечение выбранного участка автомагистрали в единицу времени в обоих направлениях по всем полосам движения;

$k_V$  – поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения транспортного потока ( $V$  км/час) на выбранной автомагистрали (или ее участке), определяемый по табл. 1.2);

$\frac{L}{60}$  – коэффициент пересчета «час» в «мин»;

$L$  (км) – протяженность автомагистрали (или ее участка), из которой исключена протяженность очереди автомобилей перед запрещающим сигналом светофора, и длина соответствующей зоны перекрестка (для перекрестков, на которых проводились дополнительные обследования).

Таблица 1.1

Значения пробеговых выбросов  $M_{k,i}^{\text{П}}$  (г/км)  
для различных групп автомобилей

Наименование группы автомобилей	№ группы	СО	Выбросы						
			NO <sub>x</sub> (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	СН	Сажа	SO <sub>2</sub>	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
Легковые	I	19,0	1,8	2,1	–	0,065	0,006	0,019	$1,7 \times 10^{-6}$
Легковые дизельные	Ид	2,0	1,3	0,25	0,1	0,21	0,003		–
Грузовые карбюраторные с грузоподъемностью до 3 т (в том числе работающие на сжиженном нефтяном газе) и микроавтобусы	II	69,4	2,9	11,5	–	0,20	0,020	0,026	$4,5 \times 10^{-6}$

Наименование группы автомобилей	№ группы	CO	Выбросы						
			NO <sub>x</sub> (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	CH	Сажа	SO <sub>2</sub>	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
Грузовые карбюраторные с грузоподъемностью более 3 т (в том числе работающие на сжиженном нефтяном газе)	III	75,0	5,2	13,4	–	0,22	0,022	0,033	$6,3 \times 10^{-6}$
Автобусы карбюраторные	IV	97,6	5,3	13,4	–	0,32	0,03	0,041	$6,4 \times 10^{-6}$
Грузовые дизельные	V	8,5	7,7	6,0	0,3	1,25	0,21	–	$6,5 \times 10^{-6}$
Автобусы дизельные	VI	8,8	8,0	6,5	0,3	1,45	0,31	–	$6,7 \times 10^{-6}$

Таблица 1.2

Значения коэффициентов  $k_V$ , учитывающих изменение количества выбрасываемых вредных веществ в зависимости от скорости движения

Значение	Скорость движения ( $V$ , км/час)												
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
$k_V$	1,35	1,28	1,2	1,1	1,0	0,88	0,75	0,63	0,5	0,3	0,45	0,5	0,65

*Примечание:* для диоксида азота значение  $k_V$  принимается постоянным и равным 1 до скорости 80 км/час.

### ***Расчет выбросов автотранспорта в районе регулируемого перекрестка***

При расчетной оценке уровней загрязнения воздуха в зонах перекрестков следует исходить из наибольших значений содержания вредных веществ в отработавших газах, характерных для режимов движения автомобилей в районе пересечения автомагистралей (торможение, холостой ход, разгон).

Выброс  $i$ -го загрязняющего вещества (ЗВ) в зоне перекрестка при запрещающем сигнале светофора определяется по формуле:

$$M_{\Pi_1} = \frac{P}{40} \sum_{n=1}^{N_{\Pi}} \sum_{k=1}^{N_{\text{гр}}} M'_{\Pi_1, k} N_{k, n}, \text{ г/мин}, \quad (1.3)$$

где  $P$  (мин) – продолжительность действия запрещающего сигнала светофора (включая желтый цвет);

$N_{\Pi}$  – количество циклов действия запрещающего сигнала светофора за 20-минутный период времени;

$N_{\text{гр}}$  – количество групп автомобилей;

$M_{\Pi_1}$  (г/мин) – удельный выброс  $i$ -го ЗВ автомобилями,  $k$ -й группы, находящихся в «очереди» у запрещающего сигнала светофора;

$N_{k, n}$  – количество автомобилей  $k$ -й группы, находящихся в «очереди» в зоне перекрестка в конце  $n$ -го цикла запрещающего сигнала светофора.

Значения  $M'_{\Pi_1, k}$  определяются по табл. 1.3, в которой приведены усредненные значения удельных выбросов (г/мин), учитывающие режимы движения автомобилей в районе пересечения перекрестка (торможение, холостой ход, разгон), а значения  $P$ ,  $N_{\Pi}$ ,  $N_{k, n}$  – по результатам натурных обследований.

Таблица 1.3

Удельные значения выбросов для автомобилей,  
находящихся в зоне перекрестка  $M'_{П1,к}$

Наименование группы автомобилей	№ группы	Выброс, г/мин							
		CO	NO <sub>x</sub> (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	CH	Сажа	SO <sub>2</sub>	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
Легковые	I	3,5	0,05	0,25	–	0,01	0,0008	0,0044	$2,0 \times 10^{-6}$
Легковые дизельные	Id	0,13	0,08	0,06	0,035	0,04	0,0008	–	–
Грузовые карбюраторные с грузоподъемностью до 3 т (в том числе работающие на сжиженном нефтяном газе) и микроавтобусы	II	6,3	0,075	1,0	–	0,02	0,0015	0,0047	$4,0 \times 10^{-6}$
Грузовые карбюраторные с грузоподъемностью более 3 т (в том числе работающие на сжиженном нефтяном газе)	III	18,4	0,2	2,96	–	0,028	0,006	0,0075	$4,4 \times 10^{-6}$
Автобусы карбюраторные	IV	16,1	0,16	2,64	–	0,03	0,012	0,0075	$4,5 \times 10^{-6}$
Грузовые дизельные	V	2,85	0,81	0,3	0,07	0,075	0,015	–	$6,3 \times 10^{-6}$
Автобусы дизельные	VI	3,07	0,7	0,41	0,09	0,09	0,020	–	$6,4 \times 10^{-6}$
Грузовые газобаллонные, работающие на сжатом природном газе	VII	6,44	0,09	0,26	–	0,01	0,0004	–	$3,6 \times 10^{-6}$

## Порядок выполнения работы

1. На основе изучения схемы улично-дорожной сети города, а также информации о транспортной нагрузке составляется перечень основных автомагистралей (и их участков) с повышенной интенсивностью движения и перекрестков с высокой транспортной нагрузкой.

2. Для определения характеристик автотранспортных потоков на выбранных участках улично-дорожной сети проводится учет проходящих автотранспортных средств в обоих направлениях с подразделением по следующим группам:

– Л – легковые, из них отдельно легковые и легковые дизельные автомобили;

– ГК < 3 – грузовые карбюраторные грузоподъемностью менее 3-х тонн и микроавтобусы (ГАЗ-51-53, УАЗы, «Газель», РАФ и др.);

– ГК > 3 – грузовые карбюраторные грузоподъемностью более 3-х тонн (ЗИЛы, Урал и др.);

– АК – автобусы карбюраторные (ПАЗ, ЛАЗ, ЛИАЗ);

– ГД – грузовые дизельные (КРАЗ, КАМАЗ);

– АД – автобусы дизельные (городские и интуристовские);

– ГГБ – грузовые газобаллонные, работающие на природном газе.

3. Подсчет проходящих по данному участку автомагистрали транспортных средств проводится в течение 20 минут каждого часа. При высокой интенсивности движения (более 2–3 тыс. автомашин в час) подсчет проходящих автотранспортных средств проводится одновременно по каждому направлению движения (а при недостаточности числа наблюдателей – первые 20 минут – в одном направлении; следующие 20 минут – в противоположном направлении).

Для выявления максимальной транспортной нагрузки наблюдения выполняются в часы «пик». Для большинства городских автомагистралей отмечаются два максимума: утренний и вечерний (соответственно с 7–8 часов до 10–11 часов и с 16–17 часов до 19–20 часов), для многих транзитных автомагистралей наибольшая транспортная нагрузка характерна для дневного времени суток.

С целью получения исходных данных о выбросах для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы города наблюдения организуются в часы «пик» летнего сезона года.

Натурные обследования состава и интенсивности движущегося автотранспортного потока проводятся не менее 4–6 раз в часы пик на каждой автомагистрали.

Результаты натурных обследований структуры и интенсивности движущегося автотранспортного потока заносятся в полевой журнал по форме, приведенной в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Полевой журнал обследования характеристик движущегося транспортного средства

Дата	Время подсчета, за период 20 минут	Число автомобилей по группам							Скорость движения потока, км/час			
		Легковые	Легковые дизельные	ГК < 3, МА	ГК <sup>3</sup>	АК	ГД	АД	ГТБ	Легковые	Грузовые	Автобусы

Для оценки транспортной нагрузки в районе регулируемых перекрестков проводятся дополнительные обследования.

Последовательно (а при возможности – одновременно) на каждом направлении движения в период действия запрещающего сигнала светофора (включая и желтый цвет) выполняется подсчет автотранспортных средств (по группам), образующих «очередь». Одновременно фиксируется длина «очереди» в метрах. Подсчеты проводятся не менее 4–6 раз.

На каждой автомагистрали (или ее участке) фиксируются следующие параметры:

- ширина проезжей части (в метрах);
- количество полос движения в каждом направлении;
- протяженность выбранного участка автомагистрали (в км)

с указанием названий улиц, ограничивающих данную автомагистраль (или ее участок).

Результаты дополнительных обследований заносятся в полевой журнал по форме, приведенной в табл. 1.5.

Таблица 1.5

наименование улиц, образующих перекресток		направление движения автотранспорта					ширина проезжей части, количество полос				
Дата	Время работы запрещающего сигнала светофора, мин	Число автомобилей по группам								Длина очереди автотранспорта (м)	
		Легковые	Легковые дизельные	ГК < 3, МА	ГК <sup>3</sup> 3	АК	ГД	АД	ГТБ		

Определение средней скорости движения основных групп автотранспортного потока выполняется по всей протяженности обследуемой автомагистрали или ее участка, включая зоны нерегулируемых и регулируемых перекрестков (лабораторная работа № 4).

На обследуемом перекрестке фиксируются следующие параметры:

- ширина проезжей части (в метрах);
- количество полос движения в каждом направлении;
- протяженность зоны перекрестка в каждом направлении (в метрах).

По результатам натурных обследований проводят расчеты выбросов:

- движущегося автотранспорта (формула (1.2));
- автотранспорта в зоне перекрестка (формула (1.3));
- суммарные выбросы (формула (1.1)).

По итогам выполненных расчетов заполняется табл. 1.6.

Таблица 1.6

Наименование вещества	Количество выбросов от движения автотранспорта, г/мин	Количество выбросов на перекрестках, г/мин	Суммарное количество выбросов, г/мин
Оксид углерода (CO)			
Оксид азота (NO <sub>x</sub> )			
Углеводород (CH)			

Окончание табл. 1.6

Наименование вещества	Количество выбросов от движения автотранспорта, г/мин	Количество выбросов на перекрестках, г/мин	Суммарное количество выбросов, г/мин
Сажа			
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )			
Соед. свинца			
Формальдегид			
Бенз(а)пирен			

*Итого:*

Количество выбросов в час –

Количество выбросов в сутки –

Количество выбросов в год –

Количество выбросов автотранспорта в год в г. Минске –



## Лабораторная работа № 2

### ОСНОВЫ РАСЧЕТА РАСХОДА ТОПЛИВА

**Цель работы:** определить расход местного натурального топлива и условного топлива на котельную установку в течение года эксплуатации.

#### Теоретические сведения

Теплоэнергетическая (котельная) установка предназначена для выработки и отпуска потребителю тепловой энергии в виде горячей воды или водяного пара, требуемых частных параметров (температуры, давления, расхода, степени сухости и т. п.).

Система водяного отопления включает котельный агрегат, трубопроводы и отопительные приборы различного типа (чугунные батареи, стальные радиаторы, оребренные трубы и т. п.). Циркуляция теплоносителя осуществляется либо естественным путем (за счет разности плотностей холодной и горячей воды), либо принудительно (с помощью циркуляционного насоса). Теплоноситель (т. е. горячую воду) заданных параметров вырабатывают в котле. При этом в топке котла сжигают различные виды топлива: как энергетически эффективные (газ, мазут, печное бытовое, каменный уголь, антрацит), так и менее энергоэффективные местные виды топлива.

К местным видам топлива в Республике Беларусь относятся дрова, древесина, различные отходы, торф, бурый уголь, горючие сланцы и т. п.

В настоящее время в Республике Беларусь для эффективного сжигания местных видов топлива с достаточно высоким коэффициентом полезного действия (далее – КПД) отечественными предприятиями разработаны и выпускаются соответствующие котельные агрегаты различных типов и с разной теплопроизводительностью (табл. 2.1). Рациональное и эффективное использование местных видов топлива и разработка надежного отечественного теплоэнергетического оборудования позволят сократить закупку дорогостоящих природного газа и нефти и использовать их в большей степени в качестве сырья для химической промышленности.

Таблица 2.1

## Теплотехнические характеристики котельных установок и местных видов топлива

Номер варианта	Тип, марка котла	Теплопроизводительность, МВт	КПД, %	Вид топлива	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Влажность, %	Изготовитель
1	Котел водогрейный стальной, КВр(М)	0,5	84	Опилки	10,2	30–60	Белоозерский энергомех. завод, Брестская обл.
2	Водогрейный котел, СН	1,0	83	Стружки	14,5	5–15	СООО «Комонтг», г. Гомель
3	Котел стальной водотрубный, КВ-РМ	0,5	82,5	Щепа	7,5	45–55	НПП «Белкотломаш», Витебская обл.
4	Котел водогрейный, КВТ	0,63	82	Дрова	10,5	30–60	РУП «Коммунальник», г. Гомель
5	Котел с топкой кипящего слоя, КВ-Ф	1,25	85	Фрезерный торф	9,8	~ 50	ОАО «ГСКБ», г. Брест
6	Котел водогрейный стальной, КВр(М)	0,75	84	Торфобрикеты	14,8	~ 20	Белоозерский энергомех. завод, Брестская обл.
7	Котел водотрубный стальной, КВ-РМ	1,0	82,5	Кора	8,0	10–50	НПП «Белкотломаш», Витебская обл.
8	Котел водогрейный, КВТ	2,0	83	Кусковой торф	13,4	~ 35	РУП «Коммунальник», г. Гомель
9	Котел с топкой кипящего слоя, КВ-Ф	0,5	84	Стружка	12,3	10–60	ОАО «ГСКБ», г. Брест

Номер варианта	Тип, марка котла	Теплопроизводительность, МВт	КПД, %	Вид топлива	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Влажность, %	Изготовитель
10	Водогрейный котел, СНС	0,9	85	Древесная пыль	16,0	5–15	СООО «Комконт», г. Гомель
11	Котел водогрейный малый, КВМ	0,82	80	Фрезерный торф	10,0	~45	ОДО «Рокинтехинвест», г. Минск
12	Бытовой котел, S40	0,4	85	Дрова	11,5	~40–50	РУП «Сморгонский завод оптического станкостроения», г. Сморгонь
13	Котел водогрейный малый, КВМ	0,51	80	Бурый уголь	6,5	~55–60	ОДО «Рокинтехинвест», г. Минск
14	Котел водогрейный стальной, КВр	1,0	85	Кусковой торф	13,4	~35	Белоозерский энергомех. завод, Брестская обл.
15	Котел водотрубный стальной, КВ-РМ	2,0	82,5	Древесные топливные гранулы	21,2	~8–10	НПП «Белкотломаш», Витебская обл.
16	Котел водогрейный, КВТ	1,0	83	Лигнит	5,4	~60	РУП «Коммунальник», г. Гомель
17	Котел с топкой кипящего слоя, КВ-Ф	3,0	85	Опилки	8,0	~60	ОАО «ГСКБ», г. Брест
18	Водогрейный котел, СНС	1,5	83	Торфобрикеты с лигнином	13,8	~15	СООО «Комконт», г. Гомель

Продолжение табл. 2.1

Номер варианта	Тип, марка котла	Теплопроизводительность, МВт	КПД, %	Вид топлива	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Влажность, %	Изготовитель
19	Котел водогрейный малый, КВМ	0,82	81	Горючие сланцы	5,2	~ 65	ОДО «Рокитхинвест», г. Минск
20	Бытовой котел, S20	0,2	85	Древесные гранулы	19,0	~ 10	РУП «Сморгонский завод оптического станкостроения», г. Сморгонь
21	Водогрейный котел, СНС	2,5	83	Древесные брикеты	17,0	~ 8–12	СООО «Комконт», г. Гомель
22	Котел водогрейный стальной, КВр	1,5	85	Бурый уголь	6,5	~ 50–60	Белоозерский энергомех. завод, Брестская обл.
23	Котел водотрубный стальной, КВ-РМ	3,0	82,5	Отходы лесозаготовок	8,4	~ 45–55	НПП «Белкотломаш», Витебская обл.
24	Котел водогрейный, КВТ	0,95	83	Дрова	11,0	~ 40–55	РУП «Коммунальник», г. Гомель
25	Котел с топкой кипящего слоя, КВ-Ф	2,0	85	Опилки, лигнин	7,3	~ 60	ОАО «ГСКБ», г. Брест
26	Водогрейный котел, СН	4,0	83	Фрезерный торф	9,8	~ 50	СООО «Комконт», г. Гомель
27	Котел водогрейный малый, КВМ	0,3	81	Бурый уголь	6,5	~ 50–60	ОДО «Рокитхинвест», г. Минск

Номер варианта	Тип, марка котла	Теплопроизводительность, МВт	КПД, %	Вид топлива	Удельная теплота сгорания, МДж/кг	Влажность, %	Изготовитель
28	Водогрейный котел, СНС	5,0	83	Торфобрикеты	14,8	~ 20	ООО «Комконт», г. Гомель
29	Бытовой котел, S10	0,1	85	Отходы лесозаготовок	8,4	~ 45–55	РУП «Сморгонский завод оптического станкостроения», г. Сморгонь
30	Котел водогрейный стальной, КВр	3,0	85	Кусковой торф	13,0	35–50	Белоозерский энергомех. завод, Брестская обл.

Расход натурального топлива зависит от тепловой нагрузки котельной установки, значение которой подбирается с учетом тепловой мощности системы отопления. Тепловая мощность системы отопления определяется на основании теплового баланса отапливаемого помещения и связана в основном с покрытием общих тепловых потерь. Кроме того, расход топлива существенно зависит от вида используемого топлива и КПД котельного агрегата.

Расход натурального топлива ( $B$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$B = \frac{Q_{\text{ч}}}{\eta Q_{\text{н}}^p}, \quad (2.1)$$

где  $Q_{\text{ч}}$  – среднечасовая тепловая нагрузка котельной установки;

$\eta$  – КПД котла;

$Q_{\text{н}}^p$  – удельная теплота сгорания используемого натурального топлива.

Для сравнения энергетической эффективности используемых различных видов натурального топлива между собой, а также для расчета прямых обобщенных энергозатрат предприятия и определения ряда энергоэкономических показателей, в том числе и важнейшего из них – энергоемкости продукции, применяют *условное топливо*.

Расход условного топлива ( $B_{\text{усл}}$ ) рассчитывают с помощью теплового эквивалента, представляющего собой отношение удельной теплоты сгорания натурального топлива к удельной теплоте сгорания условного топлива:

$$B_{\text{усл}} = B \mathcal{E}_{\text{т}} = B \frac{Q_{\text{н}}^p}{Q_{\text{усл}}^p}, \quad (2.2)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{т}}$  – тепловой эквивалент;

$Q_{\text{усл}}^p$  – удельная теплота сгорания условного топлива (принимается равной 29,33 МДж/кг).

## Задача 1

*Определить расход местного натурального топлива и условного топлива на котельную установку. Вид топлива, производительность котельной установки по горячей воде или водяному пару, теплоту сгорания топлива и КПД установки необходимо выбрать согласно номеру своего варианта из табл. 2.1. Число часов работы котельной установки в год ( $T_r$ ) равно 5040 ч (210 суток).*

### Порядок расчета и оформления результатов

1. Исходные данные своего варианта представить в виде таблицы.
2. Определить среднечасовую тепловую нагрузку котельной установки ( $Q_{\text{ч}}$ ) в МДж/ч или Гкал/ч, используя соотношения между единицами измерения.
3. Рассчитать часовой, а затем и годовой расход местного натурального топлива ( $B$ ) в т.
4. Произвести перерасчет годового расхода местного натурального топлива в расход условного топлива ( $B_{\text{усл}}$ ).
5. Сформулировать вывод об эффективности используемого местного вида топлива по сравнению с природным газом, мазутом, бытовым печным топливом.

## Лабораторная работа № 3

### ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ

**Цель работы:** определить количество тепла, происходящее через наружные ограждения конструкций в период эксплуатации сооружений.

#### Теоретические сведения

Экономия тепловой энергии в любом помещении связана в первую очередь с уменьшением ее потерь через различные наружные ограждения.

*Общие теплопотери* ( $\Phi$ ) через наружные ограждения определяются для холодного периода года, при этом суммируются как основные, так и добавочные теплопотери через все ограждающие конструкции (стены, окна, двери, ворота, перекрытия, пол):

$$\Phi = \Phi_o + \Phi_d, \quad (3.1)$$

где  $\Phi_o, \Phi_d$  – соответственно тепловая мощность основных и добавочных теплопотерь.

*Основные теплопотери* рассчитываются по уравнению теплопередачи:

$$\Phi_o = \frac{A}{R_o} (t_b - t_n) n, \quad (3.2)$$

где  $A$  – площадь ограждающей конструкции;

$R_o$  – термическое сопротивление теплопередаче;

$t_b$  – расчетная температура воздуха внутри помещения;

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха (средняя температура наиболее холодной пятидневки);

$n$  – коэффициент, учитывающий расположение ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху.



Коэффициент  $n$  для наружных ограждений, непосредственно соприкасающихся с наружным воздухом, принимают равным 1, а в других случаях – меньше 1. Например, для чердачных перекрытий и перекрытий над холодными подвалами следует принимать  $n = 0,9$ .

Площади окон и дверей определяются по наименьшим размерам строительных проемов, площади пола и потолка – по размерам между осями внутренних стен и внутренними поверхностями наружных стен. Площади наружных стен рассчитываются по размерам в плане внешнего периметра между осями внутренних стен и наружными углами, а по высоте – от поверхности пола до верха утеплителя чердачного перекрытия (до пересечения внутренней поверхности стены с верхней плоскостью бесчердачного перекрытия).

Термические сопротивления ( $R_o$ ) теплопередаче стен, покрытий, чердачных перекрытий, дверей и ворот определяются по следующему уравнению:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{н}}, \quad (3.3)$$

где  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности;

$\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя ограждения;

$\lambda_i$  – теплопроводность  $i$ -го слоя ограждения;

$\alpha_{н}$  – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности.

Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности стен, гладких потолков, а также потолков с ребрами (при отношении высоты ребер к расстоянию между гранями соседних ребер не больше 0,3) принимается равным  $8,7 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Например, для внутренних поверхностей стен производственных животноводческих помещений, в которых заполнение животными составляет более 80 кг живой массы на  $1 \text{ м}^2$  пола, рекомендуется принимать  $\alpha_{в} = 12 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Коэффициент теплоотдачи покрытий и перекрытий над проездами, а также на наружной поверхности стен принимается равным  $23 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , а для перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах –  $12 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Термическое сопротивление теплопередаче окон принимается в зависимости от конструктивных особенностей остекления:

- а) одинарное остекление в деревянных переплетах –  $0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ;
- б) двойное остекление в деревянных переплетах –  $0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ .

При использовании металлических переплетов вышеприведенные цифры следует уменьшить на 10 %.

Теплопотери через полы, расположенные на грунте или на лагах, следует определять по уравнению (3.2), выполняя расчет по зонам-полосам, параллельным наружным стенам. Первые три зоны имеют ширину по 2 м, а вся оставшаяся часть составляет четвертую зону. Ширина первой зоны отсчитывается от внутренней поверхности наружных стен. Площадь участков пола, примыкающих к углам наружных стен, учитывается в первой зоне дважды (см. пример расчета потерь тепловой энергии через пол).

Для неутепленных полов сопротивление теплопередаче принимается для первой зоны –  $2,1 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , для второй –  $4,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , для третьей –  $8,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ , для четвертой –  $14,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ .

Сопротивление теплопередаче утепленных полов ( $R_{\text{уп}}$ ), включающих в свой состав утепляющий слой из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{\text{yc}} < 1,2 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ , рассчитывается для каждой зоны отдельно с учетом сопротивления теплопроводности утепляющего слоя:

$$R_{\text{уп}} = R_{\text{нп}} + \frac{\delta_{\text{yc}}}{\lambda_{\text{yc}}}, \quad (3.4)$$

где  $R_{\text{нп}}$  – сопротивление теплопередаче рассматриваемой зоны неутепленного пола (приведено выше);

$\delta_{\text{yc}}$ ,  $\lambda_{\text{yc}}$  – толщина и коэффициент теплопроводности утепляющего слоя.

Сопротивление теплопередаче полов на лагах ( $R_{\text{л}}$ ) рассчитывается следующим образом:

$$R_{\text{л}} = 1,18 \cdot R_{\text{уп}}. \quad (3.5)$$

Добавочные теплотери учитывают ряд дополнительных факторов (ориентацию ограждений по сторонам света, поступление холодного воздуха через двери, инфильтрацию наружного воздуха и др.) и определяются в процентах от основных теплотерь.

Добавочные теплотери вводят в расчет в следующих размерах:

а) для наружных стен, дверей и окон, обращенных на север, восток, северо-восток и северо-запад, – 10 %, а для обращенных на запад и юго-восток – 5 %;

б) для наружных стен, дверей и окон в угловых помещениях, имеющих две наружные стены и более, – соответственно 5 и 10 %;

в) для наружных дверей, не оборудованных завесами, при высоте здания  $H$ , м: 27  $H$  % для двойных дверей с тамбурами или 34  $H$  % – при отсутствии тамбура;

г) для наружных ворот, не оборудованных завесами: 300 % при отсутствии тамбура и 100 % – при наличии тамбура.

Добавочные теплотери на инфильтрацию наружного воздуха определяются с учетом поступления воздуха через неплотности в ограждениях и возможного превышения расхода приточного воздуха над расходом удаляемого. При отсутствии данных для расчета рекомендуется принимать добавочные теплотери на инфильтрацию в размере 30 % от основных теплотерь через наружные стены, окна и перекрытия.

Санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к наружным ограждениям, заключаются в основном в ограничении температурного перепада между внутренним воздухом и внутренними поверхностями наружных ограждений (стен, покрытий и чердачных перекрытий). В связи с этим нормативное или требуемое термическое сопротивление теплопередаче рассчитывается по уравнению:

$$R_T^H = \frac{t_B - t_H}{\alpha_B \Delta t^H} n, \quad (3.6)$$

где  $t_H$  – расчетная температура наружного воздуха, принимается в зависимости от показателя тепловой инерции наружных ограждений;

$\Delta t^H$  – нормативный температурный перепад между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждающей конструкции.

Нормативный температурный перепад принимается в зданиях:  
а) для наружных стен:

$$\Delta t^H = t_B - t_p, \quad (3.7)$$

где  $t_p$  – температура точки росы при расчетной температуре и относительной влажности внутреннего воздуха;

б) для покрытий и чердачных перекрытий:

$$\Delta t^H = 0,8(t_B - t_p). \quad (3.8)$$

Показатель тепловой инерции ( $D$ ) является безразмерной величиной:

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} S_i, \quad (3.9)$$

где  $S_i$  – коэффициент теплоусвоения  $i$ -го слоя ограждения.

При расчете нормативного термического сопротивления теплопередаче рекомендуется принимать расчетную температуру наружного воздуха, равную:

а) средней температуре наиболее холодных суток при  $D \leq 4$ ;

б) средней температуре наиболее холодных трех суток при  $4 < D \leq 7$ ;

в) средней температуре наиболее холодной пятидневки при  $D > 7$ .

Среднюю температуру наиболее холодных трех суток следует определять как среднее арифметическое из температур наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки.

### Задача 1

*Определить теплопотери через пол производственного помещения с размерами в плане 21×96 м. Все стены помещения являются наружными.*

Пол выполнен из дощатого настила толщиной 30 мм по бетонной подготовке (стяжке). Теплопроводности досок и бетона состав-

ляют соответственно 0,21 и 1,51 Вт / (м·К). Температура внутреннего воздуха –  $t_{в} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , наружного –  $t_{н} = -26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### *Решение задачи*

Производим разбивку пола на отдельные зоны, начиная от наружных стен, как показано на рис. 3.1. Площади зон:

$$A_1 = (2 \cdot 21 + 2 \cdot 96) \cdot 2 = 468 \text{ м}^2;$$

$$A_2 = (2 \cdot 17 + 2 \cdot 88) \cdot 2 = 420 \text{ м}^2;$$

$$A_3 = (2 \cdot 13 + 2 \cdot 84) \cdot 2 = 388 \text{ м}^2;$$

$$A_4 = 9 \cdot 84 = 756 \text{ м}^2.$$

Итого – 2032 м<sup>2</sup>.

Выполняем проверку расчета площадей зон пола. Определяем площадь пола ( $A$ ) в помещении:

$$A = 21 \cdot 96 = 2016 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь зон пола больше площади пола на величину площади четырех углов (заштрихованных на рисунке), учтенных дважды при расчете площади первой зоны.

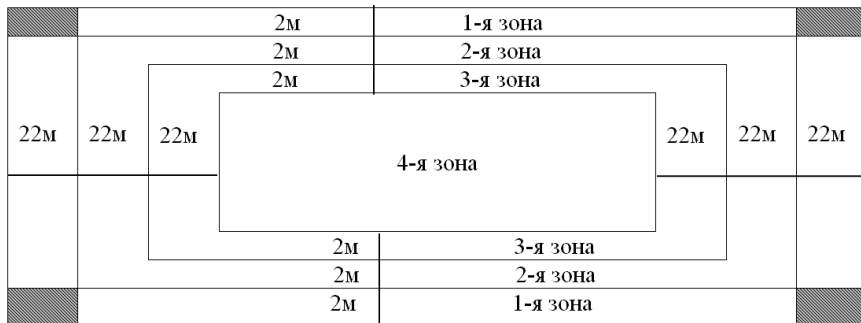


Рис. 3.1. Разбивка пола на отдельные зоны

Термическое сопротивление теплопередаче зон утепленного пола определяется по уравнению (3.4):

$$R_1 = 2,1 + \frac{0,03}{0,21} = 2,24 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$R_2 = 4,3 + \frac{0,03}{0,21} = 4,44 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$R_3 = 8,6 + \frac{0,03}{0,21} = 8,74 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$R_4 = 14,2 + \frac{0,03}{0,21} = 14,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

Рассчитываем теплопотери через отдельные зоны пола по формуле (3.2):

$$\Phi_1 = \frac{468}{2,24} (15 - (-26)) = 8566 \text{ Вт};$$

$$\Phi_2 = \frac{420}{4,24} (15 - (-25)) = 3962 \text{ Вт};$$

$$\Phi_3 = \frac{388}{8,74} (15 - (-26)) = 1820 \text{ Вт};$$

$$\Phi_4 = \frac{756}{14,34} (15 - (-26)) = 2161 \text{ Вт}.$$

Теплопотери через пол составляют:

$$\Phi = 8566 + 3962 + 1820 + 2161 = 16\,509 \text{ Вт} = 16,5 \text{ кВт}.$$

## Задача 2

*Определить потери тепловой энергии (теплопотери) через наружные ограждения зданий и производственных помещений. Сравнить термическое сопротивление теплопередач с требуемыми по санитарно-техническим нормам.*

Исходные данные для решения задачи выбрать в соответствии с вариантом по номеру в учебном журнале, используя таблицы 3.1–3.3. Деревянные двери размером 2×3 м предусмотреть в поперечной стене, а остекление – в продольных стенах. Тип наружного ограждения стены, пол, перекрытия для расчета выбрать самостоятельно или по указанию преподавателя, но не менее двух типов, например, пол и поперечная стена, или пол и продольная стена, или пол и перекрытие.

### **Порядок расчета и оформления результатов**

1. Записать исходные данные строго по своему варианту в табличной форме.
2. Выписать теплофизические характеристики строительных материалов соответствующих наружных ограждений, используя данные приложения.
3. Рассчитать термические сопротивления теплопередаче рассматриваемых наружных ограждений.
4. Определить тепловую инерцию и требуемые термические сопротивления для наружных ограждений и установить на соответствие санитарно-техническим нормам.
5. Изобразить план здания в масштабе с учетом указаний по ориентации продольной оси и разбивкой пола на рекомендуемые расчетные зоны.
6. Рассчитать площади отдельных зон пола и термическое сопротивление теплопередачи для каждой зоны.
7. Выполнить расчет основных, дополнительных и общих потерь тепловой энергии для выбранного типа наружных ограждений.
8. Результаты расчетов оформить в виде табл. 3.4.
9. Сформулировать вывод с указанием путей и современных инженерно-технических решений по экономии тепловой энергии и уменьшению ее потерь на примере «термошубы», используемой в Республике Беларусь для термореновации наружных ограждений зданий.

Таблица 3.1

Техническая характеристика стен, полов и параметры  
внутреннего воздуха

Но- мер вари- анта	Многослойные стены		Полы		Расчетные параметры внутр. возд.	
	материалы	толщина, мм	материалы	толщина, мм	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$
1	Кладка из керамического кирпича	510	Цементный раствор	25	18	60
	Внутренняя штукатурка	15	Керамзитобетон	80		
2	Панели железобетона	30	Дошчатый настил	40	24	65
	Плиты минераловатные	110	Бетон	80		
	Асбестоцементные листы	8				
3	Аглопоритобетон	300	Цементный раствор	25	3	70
	Внутренняя штукатурка	15	Бетон	80		
4	Керамзитобетон	400	Кордорезинобитумные (КРБ) плиты	12	12	55
	Внутренняя штукатурка	20	Бетон	80		
5	Газобетон	240	Доски	30	10	70
	Внутренняя штукатурка	20	Керамзитобетон	65		
6	Наружная штукатурка	15	КРБ-плиты	12	5	75
	Пористый кирпич	460	Керамзитобетон	75		
	Внутренняя штукатурка	15				
7	Кладка из керамического кирпича	260	Доски	40	20	50
	Фибролитовые плиты	110	Бетон	100		
8	Наружная штукатурка	20	Доски	30	18	55
	Шлакобетон	500	Шлакобетон	50		
	Внутренняя штукатурка	20				



Продолжение табл. 3.1

Но- мер вари- анта	Многослойные стены		Полы		Расчетные параметры внутр. возд.	
	материалы	толщина, мм	материалы	толщина, мм	$t_{в}$ , °С	$\phi$ , %
9	Перлитобетон	200	Линолеум	5	16	55
	Внутренняя штукатурка	20	Бетон	60		
10	Кирпич керамический	130	ДСП	25	15	55
	Фибролит	110	Бетон	60		
11	Бетон сборный	500	Цементный раствор	25	10	60
	Внутренняя штукатурка	20	Бетон	70		
12	Известняк-ракушечник	510	Доски	40	12	60
	Внутренняя штукатурка	25	Керамзитобетон	60		
13	Наружная штукатурка	15	Линолеум	5	14	65
	Керамзитобетон	230	Бетон	70		
	Внутренняя штукатурка	15				
14	Силикатный пустотелый кирпич	500	Доски	40	22	65
	Внутренняя штукатурка	20	Шлакобетон	60		
15	Керамический кирпич	510	КРБ плиты	12	20	50
	Внутренняя штукатурка	15	Бетон	80		
16	Железобетон	45	ДСП	25	10	70
	Минеральная вата	120	Бетон	70		
	Железобетон	45				
17	Силикатный кирпич	250	Ламинат	15	20	60
			Поролон	5		
	Внутренняя штукатурка	20	Бетон	80		
18	Железобетон	30	Керамическая плитка	10	3	65
	Минеральная вата	100	Цементный раствор	20		
	Асбоцемент	8	Бетон	60		

Продолжение табл. 3.1

Но- мер вари- анта	Многослойные стены		Полы		Расчетные параметры внутр. возд.	
	материалы	толщина, мм	материалы	толщина, мм	$t_v, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$
19	Силикатный кирпич	125	Доски	40	20	55
	Доска-вагонка	20	Шлакобетон	60		
20	Панели железобетонные	30	Линолеум	5	18	60
	Шлак топливный	150	Шлакобетон	65		
21	Деревянный брус	150	Доски	50	20	50
	Фанера	10	Цементный раствор	40		
22	Доска	15	Дощатый настил	40	22	60
	Бревно	250		60		
	Гипсокартон	10	Бетон	25		
23	Доска-вагонка	20	ДСП	25	18	75
	Силикатный кирпич	125	Бетон	60		
	Асбестоцементные листы	10				
24	Наружная штукатурка	20	Линолеум	5	15	60
	Ячеистый керамический кирпич	125	Бетон	60		
	Внутренняя штукатурка	20				
25	Керамическая плитка	10	КРБ-плиты	12	18	60
	Панели автоклавных ячеистых бетонов	200	Шлакобетон	50		
26	Железобетон	30	Линолеум	5	14	55
	Плиты ПСБ теплоизоляционные	150	Цементный раствор	20		
			Керамзитобетон	50		
27	Плиты ПСБ теплоизоляционные	200	ДСП	25	20	65
	Доска-вагонка	20	Бетон	75		
28	Железобетон	30	Доски	40	18	55
	Плиты льнокошторичные	50	Шлакобетон	55		
	Железобетон	30				

## Окончание табл. 3.1

Номер варианта	Многослойные стены		Полы		Расчетные параметры внутр. возд.	
	материалы	толщина, мм	материалы	толщина, мм	$t_{в}, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$
29	Железобетон	35	Цементный раствор	20	16	70
	Плиты ППС	100				
	Железобетон	35	Бетон	70		
30	Керамическая плитка	10	Керамическая плитка	15	22	50
	Силикатный пустотелый кирпич	120	Цементный раствор	40		
	Доска-вагонка	20				

Таблица 3.2

Техническая характеристика перекрытий, дверных, оконных проемов и параметры наружного воздуха

Номер варианта	Перекрытие		Тип остекления и переплетов	Толщина деревянных дверей, мм	Номер планировки	Температура наружн. возд. в холодный период, $^\circ\text{C}$			
	материалы	толщина, мм				$A$	$B$	$B$	$t_l$
1, 6, 11, 16, 21, 26	Асбоцементный лист	15	Одинарное, деревянные	80	1	-10	-25	-37	-30
	Пенобетон	160							
	Рубероид	3							
	Плиты железобетонные	5							
2, 7, 12, 17, 22, 27	Асбоцементный лист	6	Двойное, деревянные	50	3	-12	-26	-41	-31
	Минеральные плиты	110							
	Рубероид	3							
	Плиты железобетонные	35							
3, 8, 13, 18, 23, 28	Асбоцементный лист	6	Двойное, металлические	65	5	-8	-21	-35	-25
	Пенобетон	220							
	Рубероид	3							
	Плиты железобетонные	35							

Номер варианта	Перекрытие		Тип остекления и переплетов	Толщина деревянных дверей, мм	Номер планировки	Температура наружного воздуха в холодный период, °С			
	материалы	толщина, мм				<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>t<sub>l</sub></i>
4, 9, 14, 19, 24, 29	Асбоцементный лист	15	Одинарное, деревянные	40	2	-10	-25	-39	-30
	Плиты фибролитовые	180							
	Рубероид	3							
	Плиты железобетонные	35							
5, 10, 15, 20, 25, 30	Чердачное перекрытие: гравий керамзитовый	180	Двойное, металлические	55	4	-11	-26	-39	-30
	цементный раствор	20							
	плиты железобетонные	35							

Примечание – в графе «Температура наружного воздуха в холодный период, °С» приведены следующие условные обозначения:  
*A* – средняя температура холодного периода;  
*B* – средняя температура наиболее холодной пятидневки;  
*B* – абсолютно минимальная температура;  
*t<sub>l</sub>* – средняя температура наиболее холодных суток.

Таблица 3.3

## Технические характеристики планировок зданий

Номер планировки	Размеры здания, м				Коэффициент остекления	Ориентация продольной оси здания
	длина	ширина	высота стен	высота по коньку крыши		
1	72	18	2,4	3,2	0,12	СЗ-ЮВ
2	48	21	2,6	4,0	0,15	С-Ю
3	60	12	2,8	4,5	0,22	З-В
4	84	15	3,0	3,8	0,17	СВ-ЮЗ
5	50	16	2,7	4,6	0,13	В-З

Примечание – коэффициент остекления представляет собой отношение площади окон к общей площади наружных стен.

## Бланк расчета теплотерь помещений

Обозначение	Наружные ограждения			Температура внутри помещения, °С	$(t_b - t_n)$ , °С	Коэффициент ( $n$ )	Термическое сопротивление теплопередаче, $m^2 \cdot K / Вт$	Основная теплототеря, Вт	Добавочные теплототери, %			Добавочная теплототеря, Вт	Общая теплототеря, Вт
	Ориентация по сторонам света	Расчетные размеры, А·В, м	Расчетная площадь, $m^2$						На ориентацию	На инфильтрацию	Другие		
Примечание – для обозначения наружных ограждений использовать: – НС – наружная стена; – П <sub>Г</sub> – перекрытие; – ДО – двойное остекление; – ОО – одинарное остекление; – П <sub>л1</sub> , П <sub>л2</sub> , П <sub>л3</sub> , П <sub>л4</sub> – зоны пола с указанием номеров зон; – Д <sub>в</sub> – двери, ворота.													

## Лабораторная работа № 4

### ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ

**Цель работы:** определить скорость истощения природных ресурсов Беларуси и мировых запасов на основе классификации ресурсов и интенсивного или экстенсивного потребления.

#### Теоретические сведения

**Природные ресурсы** – это предметы и явления живой природы, используемые или перспективные для использования в целях прямого или непрямого потребления.

#### Классификация природных ресурсов

<i>Исчерпаемые:</i>	<i>Неисчерпаемые:</i>
<i>Невозобновимые</i> – уголь, нефть, руды, газ	<i>Космические</i> – солнечная радиация, морские приливы
<i>Относительно возобновимые</i> – торф, почва, сапропель	<i>Климатические</i> – атмосферный воздух, энергия ветра, осадки
<i>Возобновимые</i> – растительный и животный мир	<i>Водные</i> – мировой океан

#### Использование и охрана природных ресурсов

##### *Интенсивное использование:*

Для возобновимых ресурсов – эксплуатация природных ресурсов со скоростью, близкой к скорости возобновления.

Для невозобновимых ресурсов – эксплуатация значительной части общего запаса или объема природных ресурсов с одновременным усовершенствованием технологических процессов и разведкой новых запасов.

##### *Экстенсивное использование:*

Для возобновимых ресурсов – эксплуатация природных ресурсов со скоростью значительно меньшей, чем скорость возобновления.

Для невозобновимых ресурсов – объем эксплуатации не превышает  $(1 / 30) \dots (1 / 100)$  от общего запаса или объема.

##### *Охрана невозобновимых ресурсов:*

– рациональная добыча и максимально полное извлечение из месторождений;

- экономное расходование;
- разведка новых запасов;
- замена дефицитных материалов менее дефицитными;
- усовершенствование переработки добытых ресурсов;
- уменьшение потерь на различных стадиях: переработки; использования; транспортировки.

Таблица 4.1

Природные ресурсы Беларуси

Наименование	Запасы, млн т (м <sup>3</sup> )	Годовая добыча, млн т (м <sup>3</sup> )	Время истощения, лет
Калийная соль	7461,3	44,9	
Каменная соль	21278,6	2,3	
Нефть	44,6	1,7	
Природный газ	10500	300	
Торф	172,4	2,5	
Сапропель	4400	40	
Железная руда	275	-	
Доломит	896,5	2,5	
Пески стекольные	55,8	6,8	
Пески формовочные	39,5	0,3	
Камни строительные	509	9	
Мел	691,9	5,1	
Камни облицовочные	3,3	0,03	
Глины тугоплавкие	52,1	0,9	
Глины для производства грубой керамики	275,8	10,3	
Глины для производства легких заполнителей	56	1,2	
Пески силикатные и строительные	494,6	9,0	
Песчано-гравийные материалы	697,6	12	
Минеральные воды	22679	22	
Гипс	23,3	-	
Трепел	30,5	0,003	
Каолин	5,9	-	
Янтарь	62 · 10 <sup>-6</sup>	-	

Таблица 4.2

Известные мировые запасы отдельных видов  
невозобновимых природных ресурсов

Но- мер	Ресурсы	Мировые запасы <i>A</i> , млн т	Потребле- ние в год <i>B</i> , тыс. т	Предпола- гаемые годо- вые темпы роста <i>C</i> , %	Время истоще- ния <i>n</i> , лет
1	Алюминий	1060,23	4270	6,3	
2	Медь	279,28	7700	4,5	
3	Золото	0,04	0,96	4,1	
4	Железо	87743,8	42094	2,0	
5	Свинец	82,53	3000	2,6	
6	Марганец	660,90	7480	2,4	
7	Ртуть	0,13	10,30	2,2	
8	Молибден	4,91	62,73	4,0	
9	Никель	66,68	448,86	3,4	
10	Ниобий	5,94	2,14	5,3	
11	Металлы платино- вой группы	0,01	0,01	3,3	
12	Серебро	0,17	13,44	2,5	
13	Сера	2555,24	34940	3,7	
14	Олово	4,43	274,32	1,1	
15	Вольфрам	1,28	33,23	4,9	
16	Цинк	111,13	5230	2,5	
17	Алмазы промыш- ленные	630 млн карат	69,75 млн карат	5,0	

Таблица 4.3

Ведущие страны по запасам нефти и газа

Нефть, млрд т				Газ, трлн м <sup>3</sup>			
Страна	2016	2019	2022	Страна	2018	2019	2021
Саудовская Аравия	40,5	35,3	35,5	Россия	50,3	50,3	48,9
Ирак	19,4	19,8	15,7	Иран	33,9	33,9	34,1
Кувейт	13,8	13,8	13,5	Катар	23,8	23,8	23,8
ОАЭ	14,3	13,3	13,3	Саудовская Аравия	9,1	9,4	8,4



Окончание табл. 4.3

Нефть, млрд т			Газ, трлн м <sup>3</sup>				
Страна	2016	2019	2022	Страна	2018	2019	2021
Иран	28,8	28,5	17,2	ОАЭ	6,1	6,1	7,7
Венесуэла	40,9	41,4	10,5	США	13,4	14,3	12,9
Россия	10,9	10,9	10,8	Алжир	4,5	4,5	4,5
Мексика	1,04	0,79	0,13	Венесуэла	5,7	5,7	5,6
Ливия	6,5	6,6	5,3	Нигерия	5,7	5,8	5,8
США	4,8	7,18	2,9	Ирак	3,7	3,7	3,7
Китай	3,5	3,6	2,5	Индонезия	2,8	2,7	1,4
Нигерия	5,0	5,0	4,8	Туркменистан	9,8	12,1	15,3
Катар	3,4	3,4	2,8	Канада	2,0	1,9	2,4
Великобритания	0,35	0,37	0,61	Узбекистан	1,5	1,5	1,5
Норвегия	0,9	1,2	1,11	Казахстан	1,8	1,8	1,8
Бразилия	1,8	1,8	1,4	Китай	2,7	3,0	2,9
Всего в мире	235,5	211,7	175	Всего в мире	202,9	206,2	180,7

Таблица 4.4

Десять ведущих стран по добыче нефти и газа (2021 год)

Нефть, млн т		Газ, млрд м <sup>3</sup>	
США	711,6	США	963,5
Россия	524,4	Россия	719,3
Саудовская Аравия	519,6	Иран	257,1
Канада	252,0	Катар	207,0
Ирак	202,0	Китай	193,3
Китай	194,8	Канада	189,1
Иран	143,2	Австралия	155,9
ОАЭ	166,6	Саудовская Аравия	120,5
Бразилия	159,3	Норвегия	116,7
Кувейт	130,3	Алжир	105,0
Всего в мире	4170,9	Всего в мире	4145,7

Таблица 4.5

**Потребление энергетических ресурсов в XX столетии  
(в млн т условного топлива)**

Ресурсы	Годы											
	1970	%	1980	%	1990	%	2000	%	2010	%	2020	%
Уголь	2235		3200		4400		5600		6720		6220	
Нефть	2247		4600		6700		10000		8420		7890	
Природный газ	1448		2550		4300		8000		8800		9600	
Торф, сланцы	275		350		450		600		–		–	
Ядерная энергия	36		1000		2100		6500		–		–	
Другие виды	414		500		650		1000		–		–	
Всего												

Таблица 4.6

**Теплотворная способность видов топлива**

Вид топлива	Теплотворная способность, ккал / кг (ккал / м <sup>3</sup> для газа)
Условное	7000
Уголь (бурый и каменный)	4000–6000
Нефть	100000
Газ	8000
Мазут	9000–9400
Торф	3000
Сланцы	2000–2500
Ядерное	21·10 <sup>9</sup>
Дрова	2000–25000

**Задания и методические рекомендации**

На базе приведенных данных следует:

1. Составить классификацию природных ресурсов Беларуси.
2. Оценить степень интенсивности использования природных ресурсов Республики Беларусь с учетом объема запасов, скорости эксплуатации, совершенства технологических процессов (табл. 4.1).

3. Рассчитать время истощения отдельных видов ресурсов (табл. 4.2) по формуле:

$$n = \frac{\lg\left(1 + \frac{A \cdot C}{B \cdot 100}\right)}{\lg\left(1 + \frac{C}{100}\right)}, \quad (4.1)$$

где  $n$  – количество лет истощения;

$A$  – мировой запас, тыс. т;

$C$  – годовой темп роста, %;

$B$  – потребление ресурсов в год, тыс. т.

4. Выявить удельный вес стран-лидеров по запасам нефти и газа и изобразить его в виде диаграммы.

5. Рассчитать, на сколько лет запасов нефти и газа хватит ведущим странам по их добыче?

6. Рассчитать удельные показатели потребления каждого вида топлива по годам (табл. 4.5).

7. Представить структуру потребления энергетических ресурсов в виде диаграмм.

8. Построить графики потребления энергоресурсов по видам топлива.

9. Проанализировать изменение потребления энергетических ресурсов в течение века и сделать выводы.

10\*. Как вы думаете, что будет с человечеством после исчерпания запасов нефти? Какие виды топлива и сырья способны заменить нефть? Какие нефтедобывающие страны смогут быстрее перестроить свою экономику, если нефть вдруг закончится, а для каких это будет «смертельным ударом»?

11\*. Как отразится на человечестве возможное исчерпание природного газа?

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ГОТОВНОСТИ К ЗАНЯТИЮ

1. Что называется условным топливом и тепловым эквивалентом?
2. Перечислите местные виды топлива и охарактеризуйте их основные технико-экономические показатели.
3. Что называется удельной теплотой сгорания и внешним балластом топлива?
4. От чего зависит расход натурального топлива при эксплуатации теплоэнергетической установки?
5. Каким образом экономия тепловой энергии внутри помещения связана с термическим сопротивлением теплопередаче наружных ограждений помещения?
6. Приведите расчетную формулу для определения основных теплотерь через наружные стены и перекрытия.
7. Как определить и уменьшить добавочные потери тепловой энергии?
8. Каким образом рассчитывается требуемое термическое сопротивление теплопередаче?
9. Запишите условие соответствия термического сопротивления теплопередаче требуемому, при котором осуществляются оптимальная экономия тепловой энергии и обоснованная минимизация расхода топлива на отопление помещения.
10. Что называют природными ресурсами и какова их классификация?
11. Что означает охрана неисчерпаемых ресурсов?
12. Что означает «экстенсивное» потребление ресурса?
13. Что подразумевается под термином «интенсивное» потребление ресурса?
14. В чем заключается охрана исчерпаемых невозобновимых ресурсов?
15. В чем заключается охрана возобновимых ресурсов?

## **ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ ПО «ОСНОВАМ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА» ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Составьте список устройств-потребителей электрической и тепловой энергии в вашем доме (квартира, частный дом, коттедж, общежитие и т. п.). Укажите количество членов семьи, место расположения (регион) дома, наличие приборов учета\*.

2. Рассчитайте среднее количество потребляемого электричества и теплоты за один зимний и летний месяц всей семьей и одним членом семьи.

3. Используя существующие тарифы на электрическую и тепловую энергии, газ и другие виды топлива, учитывая дотации государства на эти виды энергии для бытовых потребителей, определите и рассчитайте, во сколько обходится вашей семье и государству потребляемая за месяц электрическая и тепловая энергии в различные периоды года (холодный и теплый).

4. Изложите ваши предложения по экономии тепловой и электрической энергии и топлива в вашем доме. Составьте перечень мероприятий по их реализации с ориентировочными оценкой затрат и сроками окупаемости. Особое внимание обратите на использование энергосберегающих ламп (как люминесцентных, так и светодиодных) в системе освещения.

5. Сделайте выводы.

---

\* Информацию представить в виде таблицы с указанием названия бытового прибора или устройства, класса точности и энергоэффективности, мощности, количества часов работы и т. п.

ПРИЛОЖЕНИЕ

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Наименование материала	Плотность, кг / м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт / (м·К)	Коэффициент теплоусвоения, Вт / (м <sup>2</sup> ·К)
Аглопоритобетон	1200	0,54	7,45
Керамзитобетон	1600	0,79	10,77
Железобетон	2500	2,04	16,95
Кладка из глиняного кирпича	1800	0,81	10,12
Кладка из ячеистого кирпича	1400	0,58	7,56
Плиты фибролитовые	400	0,23	5,43
Асбоцементные листы	1800	0,52	8,12
Плиты минераловатные	300	0,07	0,73
Плиты кордорезинобитумные (КРБ)	~ 650	0,29	5,64
Бетон на гравии	2400	1,86	17,88
Цементный раствор	1800	0,93	11,09
Известково-песчаный раствор	1600	0,81	9,76
Сосна или ель поперек волокон	500	0,18	4,54
Рубероид	600	0,17	3,53
Пенобетон, газобетон	800	0,37	5,63
Гравий керамзитовый	800	0,23	3,60
Минеральная вата	100	0,058	0,6
Топливный шлак	1000	0,29	5,58
Шлакобетон	1400	0,64	6,2
Штукатурка внутренняя	1600	0,81	9,76
Штукатурка наружная	1800	0,93	11,0
Фанера	550	0,12	4,4
Силикатный кирпич	1700	0,87	12,1
Линолеум	~ 650	0,10	2,2
Ламинат	~ 450	0,093	1,8

## Окончание приложения

Наименование материала	Плотность, кг / м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт / (м·К)	Коэффициент теплоусвоения, Вт / (м <sup>2</sup> ·К)
Плиты пенополистирольные (ППС)	20–30	0,04	0,45
Плиты полистиролбетонные (теплоизоляционные)	350	0,082	0,84
Панели автоклавных ячеистых бетонов	~ 900	0,16	3,4
Плиты льнокостричные	250	0,054	5,4
Керамическая плитка	1800	0,85	11,0
Древесностружечная плита (ДСП)	400	0,2	4,7
Поролон	200	0,03	3,5

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марченков, Е. И. Основы энергосбережения. Экономия тепловой энергии и эффективное использование местных видов топлива : методические указания и задания к практическим занятиям для студентов экономических специальностей / Е. И. Марченков. – Минск : Частн. ин-т упр. и предпр., 2011. – 21 с.

2. Энергосбережение и энергетический менеджмент : учебное пособие / А. А. Андрижиевский [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 2005. – 294 с.

3. Марченков, Е. И. Основы энергосбережения : учебно-методическое пособие / Е. И. Марченков, В. Г. Шахов. – Минск : ЧИУиП, 2007. – 54 с.



Учебное издание

**УЛАСИК** Тамара Михайловна  
**БУБНОВА** Анна Михайловна  
**МЕДВЕДЕВ** Леонтий Юрьевич и др.

## **ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОИЗВОДСТВА**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальностей

1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»,  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»,  
1-27 01 01 «Экономика и организация производства»

Редактор *Н. Д. Будкин*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 16.07.2024. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 1,33. Тираж 150. Заказ 1024.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.