

И. И. КОСТЮКОВ  
О. М. ГУМЕРОВА  
В. Е. БОЖБОВ

Кафедра геодезии и строительного дела

**ОСНОВЫ  
СТРОИТЕЛЬНОГО  
ДЕЛА**

**СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА  
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ  
РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ**

методические указания по выполнению расчетных работ  
для студентов всех форм обучения

издание второе



Санкт-Петербург  
2014

Рассмотрены и рекомендованы к изданию  
методической комиссией  
лесоинженерного факультета  
Санкт-Петербургской лесотехнической академии  
22 октября 2010 года.

Составили:

К.т.н., Доцент И.И.КОСТЮКОВ  
К.т.н., Доцент О.М.ГУМЕРОВА  
Старший преподаватель В.Е.БОЖБОВ

Рецензент:

кафедра геодезии и строительного дела

Отв. редактор:

кандидат технических наук, доцент Соловьев А.Н.

**Тираж 100 экземпляров**

## ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

Студентам предлагается выполнить теплотехнический расчет наружной стены в соответствии с заданным районом строительства и конструктивной схемой стены, соблюдая условия СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [1].

При проектировании наружных ограждающих конструкций предъявляются основные требования, обеспечивающие поддержание заданного микроклимата внутри помещения и температурно-влажностного режима ограждающих конструкций. В задачу теплотехнического расчета входит определение оптимальной толщины наружной стены, выбор наиболее эффективного материала и размещение его в данной ограждающей конструкции, также следует учитывать другие параметры, необходимые для поддержки определенного температурно-влажностного режима и создания комфортных условий пребывания внутри помещения.

При проектировании ограждающих конструкций основными исходными данными являются:

- климатические условия района строительства, т.е. наружный климат здания;
- назначение здания, т.е. микроклимат как здания в целом, так и отдельных помещений.

Наружный климат здания зависит от физико-климатических параметров: температура, влажность воздуха, направление, скорость ветра, солнечная радиация. *Климатические параметры*, которые учитываются при проектировании зданий и сооружений, собранные за многолетние наблюдения представлены в виде таблиц и схематических карт в СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» [2]. В случае отсутствия данных для района строительства значений климатических параметров, следует принимать равными значениям ближайшего к нему пункта, приведенного в СНиП [2] и расположенного в местности с аналогичными условиями строительства.

Климат окружающей среды воздействует на микроклимат здания через ограждающие конструкции. Степень этого воздействия зависит от теплотехнических качеств ограждающих

конструкций и от теплофизических факторов окружающего климата.

В таблице 1 приведены нормативные данные климатических параметров по районам строительства на территории Российской Федерации.

Таблица 1

**Нормативные климатические параметры холодного периода**

Район строительства	Температура воздуха,		Средняя месячная влажность воздуха наиболее холодного месяца, W, %	Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль	Зона влажности района строительства
	Наиболее холодных суток, °С, обеспеч. 0,92	Наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеч. 0,92			
1	2	3	4	5	6
Архангельск	-37	-31	86	ЮВ	влажная
Брянск	-30	-26	85	ЮВ	нормальная
Владимир	-34	-28	84	Ю	нормальная
Вологда	-37	-32	85	ЮЗ	нормальная
Екатеринбург	-40	-35	79	З	нормальная
Ижевск	-34	-28	84	ЮЗ	нормальная
Иркутск	-38	-36	80	ЮВ	сухая
Киров	-37	-33	86	Ю	нормальная
Красноярск	-44	-40	71	З	сухая
Ленинградская обл.	-34	-29	85	ЮЗ	влажная
Москва	-32	-28	84	ЮЗ	нормальная
Мурманск	-32	-27	84	Ю	влажная
Нижний Новгород	-34	-31	84	ЮЗ	нормальная
Новгород	-31	-27	85	Ю	нормальная
Новосибирск	-41	-39	80	ЮЗ	сухая
Пермь	-39	-35	81	Ю	нормальная
Петрозаводск	-34	-29	86	ЮЗ	влажная
Санкт-Петербург	-30	-26	86	ЮЗ	влажная
Сыктывкар	-41	-36	83	ЮЗ	нормальная
Тобольск	-43	-39	82	ЮВ	нормальная
Томск	-44	-40	80	Ю	нормальная
Тюмень	-42	-38	81	ЮЗ	сухая

Ухта	-44	-39	83	ЮЗ	нормальная
Хабаровск	-34	-31	75	ЮЗ	нормальная
Ярославль	-34	-31	83	ЮЗ	нормальная

Микроклимат здания и помещений характеризуют температура воздуха ( $t_v$ , °С), влажность ( $W$ , %), скорость движения воздуха внутри помещений, температура излучения поверхности ограждающих конструкций.

Комфортные условия пребывания в помещении, складывающиеся из ряда параметров, определяют *температурно-влажностный режим помещений* зданий и сооружений в зимний период, установленный СНиП [1]. Микроклимат промышленных зданий складывается в зависимости от специфики технологических требований производства; расчетную температуру и влажность внутреннего воздуха принимают по данным и требованиям технологического процесса.

Влажностный режим помещений зданий и сооружений в зимний период в зависимости от относительной влажности  $W$  % и температуры внутреннего воздуха  $t_v$ , °С, принимается по таблице 2.

Таблица 2

### Влажностный режим помещений

Режимы	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	св. 12 до 24	св. 24
1	2	3	4
сухой	до 60	до 50	до 40
нормальный	св. 60 до 75	св. 50 до 60	св. 40 до 50
влажный	св. 75	св. 60 до 75	св. 50 до 60
мокрый	—	св. 75	св. 60

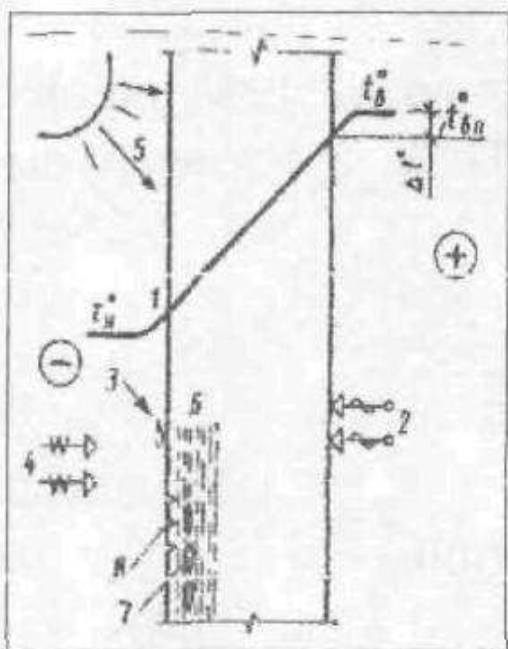
Таблица 3

### Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий (по табл. 2)	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности строительства (по табл. 1)		
	сухая	нормальная	влажная
1	2	3	4
сухой	А	А	Б
нормальный	А	Б	Б
влажный или мокрый	Б	Б	Б

К ограждающим конструкциям предъявляются требования по восприятию воздействий не силового характера: потоки влаги, тепла, распространение звуковых волн и пр.

На *рис. 1* представлена схема факторов, воздействующих на наружные стены в общем случае; в частных случаях к ним добавляются: химические агрессивные реагенты окружающей и внутренней среды, особые температурно-влажностные режимы помещений и пр. Для удовлетворения этих условий, стена должна отвечать требованиям теплотехники.



**Рис 1. Схема физических воздействий на наружную стену:**

- 1- поле (распределение) температур в стене из однородного материала;
- 2- диффузия влаги;
- 3- осадки;
- 4- ветер;
- 5- солнечная радиация;
- 6- зона влажного выпадения;
- 7- линзы льда;
- 8-зона возможных трещин

Температурно-влажностный режим помещений оказывает влияние на состояние влажности и теплозащитные качества ограждающих конструкций, и их долговечность.

Основной показатель теплозащитных качеств ограждающих конструкций - *сопротивление теплопередачи* ограждения  $R_0$ ,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ . Сопротивление теплопередачи, обеспечивающее нормируемый температурный перепад  $\Delta t^n$ ,  $\text{°C}$ , называется *требуемым сопротивлением теплопередачи* ограждающей конструкции  $R_0^{\text{тр}}$ ,  $\text{м}^2\text{°C/Вт}$ , является минимально допустимой величиной  $R_0$  ограждения. Величина  $R_0$  определяется по формуле

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{n \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t^n \cdot \alpha_{\text{в}}}, \quad (1)$$

где

$n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимается по таблице 4;

$t_{в}$  - расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая согласно нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений;

$t_{н}$  - расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СПиП 23-01-99 [2], табл. 1;

$\Delta t^n$  - нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха  $t_{в}$  и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции  $\tau_{в}$ , °С. принимаемы по таблице 5;

$\alpha_{в}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>°С), принимаемый по таблице 6;

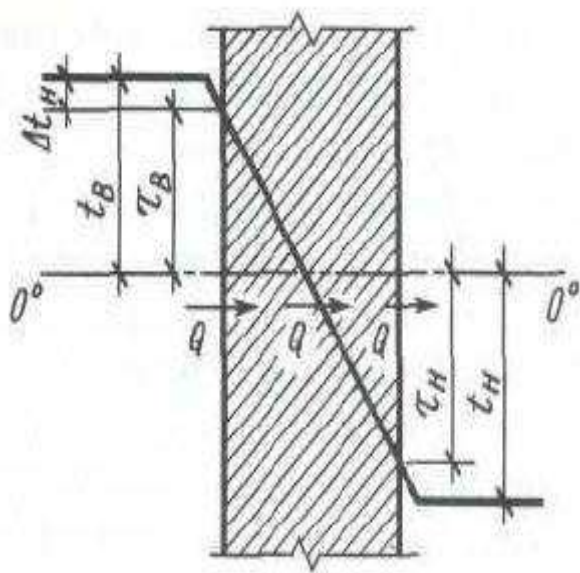


Рис.2 Распределение температур в однородной ограждающей конструкции при постоянном тепловом потоке.

При передаче теплоты через ограждающую конструкцию перепад температур от  $t_{в}$  до  $t_{н}$  состоит из суммы трех расчетных температурных перепадов (рис.2):  $t_{в} - \tau_{в}$  — разности температур воздуха помещения и внутренней поверхности ограждения;  $\tau_{в} - \tau_{н}$  — изменения температуры внутренней и наружной поверхностей ограждения;  $\tau_{н} - t_{н}$  — разности температур наружной поверхности ограждения и наружного воздуха.

Каждый из этих перепадов температур вызван конкретным сопротивлением переносу теплоты:  $t_b - t_{в}$  — сопротивлением тепловосприятую ( $R_{в}$ );  $t_{в} - t_{н}$  — термическим сопротивлением ограждения ( $R$ );  $t_{н} - t_{н}$  — сопротивлением теплоотдаче ( $R_{н}$ ). $t$

В качестве основного нормируемого перепада принимается ( $t_b - t_{в}$ ). Его величина зависит от назначения помещения и вида ограждающей конструкции. Так, в помещениях жилых и общественных зданий на внутренней поверхности наружных стен в наиболее холодные периоды зимы не допускается перепад более 6°C, а на поверхности чердачных перекрытий — более 4,5°C. В производственных помещениях этот перепад в зависимости от вида производства допускается до 10°C.

Если в помещении высокая влажность, то температуру на внутренней поверхности ограждения необходимо назначать не ниже температуры точки росы во избежание конденсата влаги.

При рассмотрении вопроса о теплопередаче предполагалось, что  $t_b$  и  $t_{н}$  не изменяются во времени. На самом деле температуры могут резко изменяться. Значение этих колебаний зависит от **тепловой инерции** ограждения, которая характеризует свойство ограждающей конструкции сохранять или медленно изменять существующее распределение температур внутри конструкции. Тепловая инерция оценивается ее характеристикой  $D$ . Эту характеристику называют также «условной толщиной» ограждающей конструкции (См. ф-лу(11)).

Таблица 4

**Коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху**

Ограждающие конструкции	Коэффициент $n$
1. Наружные стены и покрытия (в т.ч. вентилируемые наружным воздухом), зенитные фонари, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	0,9



3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными выше уровня земли	0,4

Таблица 5

**Нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции**

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t^n$ °С, для			
	Наружных стен	Покровов и чердачных перекрытий	Перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	Зенитных фонарей
1	2	3	4	5
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0	$t_B - t_P$
2. Общественные, кроме указанных в поз. 1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5	$t_B - t_P$
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_B - t_P$ , не более 7	$0,8(t_B - t_P)$ , не более 6	2,5	$t_B - t_P$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_B - t_P$	$0,8(t_B - t_P)$	2,5	—
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м <sup>3</sup> ) и расчетной относительной	12	12	2,5	$t_B - t_P$

влажностью внутреннего воздуха более 50%				
<p>Обозначения: <math>t_B</math> - расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С ;</p> <p><math>t_P</math> — температура точки росы, °С при расчетной температуре <math>t_B</math> и относительной влажности внутреннего воздуха, принимаемой согласно нормам проектирования соответствующих зданий.</p>				

Таблица 6

### Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи $a_6$ , Вт/(м <sup>2</sup> °С)
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты $h$ ребра к расстоянию $a$ между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

Показание *температуры внутренней поверхности* ограждающей конструкции  $\tau_{в}$ , °С, - один из основных факторов, определяющих тепловые показатели комфорта внутри помещений. В зимний период температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции зависит от температурных воздействий наружной среды на ограждающие конструкции, которые вызывают понижения или повышения температуры внутри здания.

Что, в свою очередь, может привести к образованию конденсата на поверхности конструкции с дальнейшим отсыреванием стен, увлажнением материала конструкции, повышением влажности внутреннего воздуха; к увеличению лучистого и конвективного теплообмена между поверхностью ограждающей конструкции и внутренней средой помещений.

В соответствии с требованиями СНиП [1] предельное минимальное значение температуры внутренней поверхности

ограждающей конструкции  $\tau_{в}$  не должно быть ниже значения, определяемого по формуле

$$\tau_{в} = t_{в} - \Delta t^n, \quad (2)$$

где

$\tau_{в}$  - температура внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С;

$t_{в}$  - расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая согласно нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений;

$\Delta t^n$  - нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха  $t_{в}$  и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции  $\tau_{в}$ , °С. принимаемы по таблице 5;

Колебания температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции зависят от теплоустойчивости конструкции. Ограничение амплитуды колебания достигается необходимой теплоустойчивостью конструкции, характеризуемой максимально допустимой величиной температурного перепада между внутренней поверхностью ограждающей конструкции и внутренним воздухом помещения. Величина *нормируемого температурного перепада*  $\Delta t^n$  зависит от назначения здания и температурно-влажностного режима помещений, по таблице 5.

В соответствии со СНиП [1] *расчетный температурный перепад*  $\Delta t_0$ , °С. между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхностью ограждающей конструкции не должно превышать нормируемой величины  $\Delta t^n$ , °С, установленной в таблице 5, и определяется по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_{в} - t_{н})}{R_0 \cdot \alpha_{в}}, \quad (3)$$

где

$n$  – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимается по таблице 4;

$t_{в}$  - расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая согласно нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений;

$t_{н}$  - расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СПиП 23-01-99 [2], смотри таблицу 1;

$\alpha_{в}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>°С), принимаемый по таблице 6;

$R_o$  - приведенное сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>°С/Вт.

*Приведенное сопротивление теплопередачи  $R_o$ , м<sup>2</sup>°С/Вт, ограждающих конструкций, а также окон и фонарей (с вертикальным остеклением или с углом наклона более 45°) следует принимать не менее значения требуемого сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций  $R_o^{тр}$ , м<sup>2</sup>°С/Вт*

$$R_o \geq R_o^{тр}, \quad (4)$$

сопротивление теплопередачи  $R_o$ , м<sup>2</sup>°С/Вт, ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_o = 1/\alpha_{в} + R_k + 1/\alpha_{н}, \quad (5)$$

где

$\alpha_{в}$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>°С), принимаемый по таблице 6;

$R_o$  - приведенное сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>°С/Вт;

$R_k$  - термическое сопротивление ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>°С/Вт, определяемое: для однослойной (однородной) конструкции по формуле (6), для многослойной - по формуле (7);

$\alpha_{н}$  - коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>°С), принимаемый по таблице 7.

Таблица 7

**Коэффициент теплоотдачи для зимних условий наружной поверхности ограждающей конструкции**

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент для зимних условий $\alpha_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> °С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительно-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительно-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Термическое сопротивление  $R$ , м<sup>2</sup>°С/Вт, однослойной (однородной) ограждающей конструкции, также слоя многослойной ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R = \delta / \lambda, \quad (6)$$

где

$\delta$  - толщина слоя, м;

$\lambda$  - расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м°С), принимаемый по приложению I (графа 7 или 8).

Термическое сопротивление  $R_k$ , м<sup>2</sup>°С/Вт, ограждающей конструкции с последовательно расположенными слоями определяют как сумму термических сопротивлений отдельных слоев:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (7)$$

где

$R_1, R_2, \dots, R_n$  - термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , определяемое по формуле (6).

Соответственно, сопротивление теплопередачи  $R_0$   $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , многослойной конструкции определяется по формуле

$$R_0 = 1 / \alpha_v + R_1 + R_2 + \dots + R_n + 1 / \alpha_n, \quad (8)$$

где

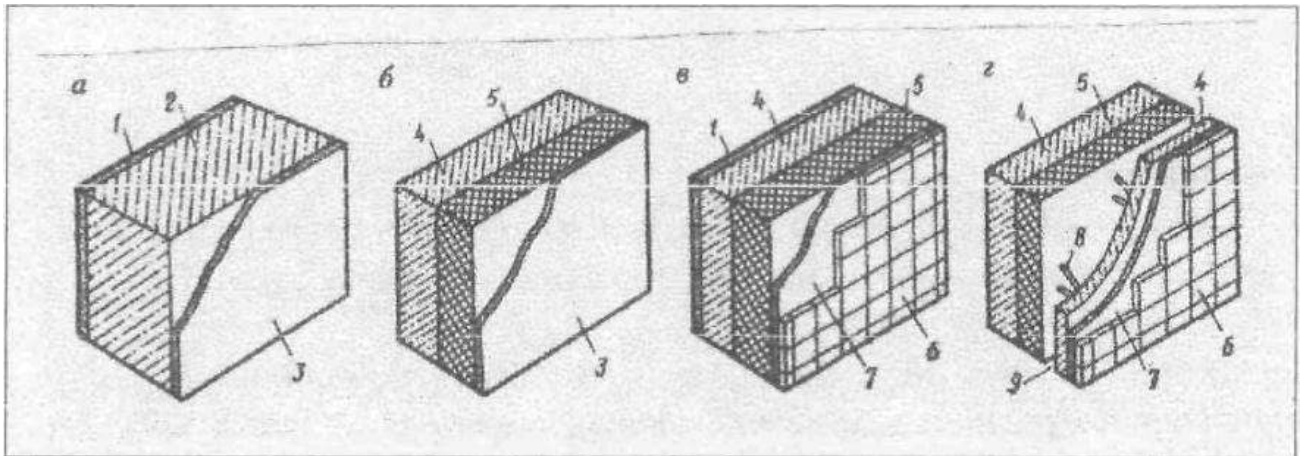
$\alpha_v$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $Вт / (m^2 \cdot ^\circ C)$ , принимаемый по таблице 6;

$R_0$  - приведенное сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ;

$R_1, R_2, \dots, R_n$  - термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции,  $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ , определяемое по формуле (6);

$\alpha_n$  - то же, что и в формуле (5).

На *рис.3* представлены принципиальные схемы возможных решений наружных стен. Позицию 2 может представлять любой эффективный однородный материал, способный выполнять несущие и изолирующие функции – керамзитобетон, газобетон и пенобетон (для ненесущих конструкций), кирпич, деревянные брусья и пр. Для других решений позиция 4 предполагает любой материал плотной структуры с несущими функциями. Позиция 9, воздушная прослойка - один из вариантов эффективных средств теплозащиты.



**Рис. 3.** Схемы решений наружных стен:

а- схема однослойной стены;

б-г- многослойные стены;

1- внутренний отделочный слон; 2- стена из эффективного материала;

3-наружный отделочный слой; 4- несущий слой; 5- утеплитель;

6- наружная отделка; 7-раствор; 8- связь из антикоррозийной стали;

9- воздушная прослойка.

Для определения толщины слоя  $\delta$ , м, преобразуя формулы (5) и (6) и приравнивая величины  $R_0^{TP}$  и  $R_0$ .  $m^2\text{°C}/\text{Вт}$ , получим формулу

$$\delta = [R_0^{TP} - (1/\alpha_B + 1/\alpha_H)] \lambda , \quad (8)$$

где

$\delta$  – толщина стены, м;

$\alpha_B$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(m^2\text{°C})$ , принимаемый по таблице 6;

$R_0$  - приведенное сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции,  $m^2\text{°C}/\text{Вт}$ ;

$\lambda$  - расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя,  $\text{Вт}/(m\text{°C})$ , принимаемый по приложению I (графа 7 или 8).

При расчете многослойной конструкции определяется толщина основного слоя, толщина остальных слоев задается конструктивно. Преобразуем формулу (8), приравнивая  $R_0$  и  $R_0^{TP}$ , как было показано выше, получим формулу:

$$R_0^{TP} = 1/\alpha_B + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \dots + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_n, \quad (9)$$

где

$\delta_1, \delta_2, \delta_n$  - толщина каждого слоя ограждающей конструкции, м;  
 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$  - расчетный коэффициент теплопроводности каждого слоя ограждающей конструкции, Вт/(м°C), принимаемый по приложению I (графа 7 или 8).

Соответственно, преобразовывая формулу (9), для нахождения толщины основного слоя  $\delta_1$ , получим формулу

$$\delta_1 = [R_0^{TP} - (1/\alpha_B + \delta_2/\lambda_2 + \dots + \delta_n/\lambda_n)] \lambda_1, \quad (10)$$

Показания  $\lambda$  выбираются из приложения I (графа 7 или 8) в соответствии с условиями эксплуатации конструкции А или Б в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности по таблице 3.

При расчете двухслойных или трехслойных конструкций за основной слой принимают слой утеплителя, остальные принимают конструктивно. В качестве утеплителя рекомендуется принимать плиты полужесткие или жесткие минераловатные на синтетическом связующем с плотностью  $\gamma_0 = 350-300 \text{ кг/м}^3$ ; стандартная толщина плит утеплителя 60, 80, 100, 130 мм (если по расчету требуется большая толщина утеплителя - принимают два слоя плит). Рекомендуется для трехслойных железобетонных панелей принимать толщину наружного и внутреннего слоев 50 мм и 70 мм соответственно. Для металлических панелей типа «сэндвич» внешние слои принимают толщиной 1 мм или 2 мм. Для асбестодеревянных, клефанерных, дощатых панелей принимают толщину внешних слоев: асбестоцементные листы - 8 мм, 10 мм, твердая ДВП — 6, 8 мм, доски деревянные — 25 мм, фанера - 10 мм.

После определения требуемой толщины  $\delta$ , м, выбирается окончательная проектная величина толщины  $\delta$ , в соответствии с принятыми стандартами.

В таблице 8 приведены существующие размеры толщины панелей и кирпичных стен.



Таблица 8

**Примеры толщины стен из различных материалов**

Конструкция стены	Толщина стены $\delta$ , мм
Стеновые панели:	
Однослойные из ячеистых бетонов	160, 200, 250, 300, 350
Однослойные керамзитобетонные	200, 250, 300, 350, 400, 450
Арболитовые	160, 200, 250, 300
Асбестодревянные	120, 140, 160
Деревянные клефанерные, дощатые с минераловатным утеплителем	110, 160, 180, 240
Металлические «сэндвич» с утеплителем из пенополиуретана или пенополистерола	100, 120
Кирпичные стены в:	
1 кирпич	250
1,5 кирпича	380
2 кирпича	510
2,5 кирпича	640
3 кирпича	770
3,5 кирпича	900

После выбора окончательной толщины конструкции  $\delta$ , м, рассчитывают показатель *тепловой инерции* ограждающей конструкции  $D$ , безразмерная характеристика, определяющая число волн, располагающихся в толще ограждения.

Так как ограждающие конструкции имеют ограниченную толщину, вследствие чего колебания температуры в толще конструкции не затухают и передаются с одной поверхности ограждения на другую. Поэтому в толще ограждения располагается более одной волны. Чем меньшая часть волн будет располагаться в толще конструкции. Тем больше будут передаваться колебания температуры на противоположную поверхность ограждения.

Показатель тепловой инерции для однослойной (однородной) конструкции определяется по формуле

$$D = R_s = \delta s / \lambda, \quad (11)$$

где

$R$  - термическое сопротивление ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>°С), определяемое по формуле (6);

$s$  - расчетный коэффициент теплоусвоения материала слоя ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>°С), принимаемый по приложению I (графа 9 или 10);

$\delta$  - толщина (окончательно принятая) ограждающей конструкции, м;

$\lambda$  - расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя ограждающей конструкции, Вт/(м°С), принимаемый по приложению I (графа 7 или 8).

Для многослойной конструкции показатель тепловой инерции  $D$  определяется как сумма показателей тепловой инерции отдельных слоев

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n = \delta_1 s_1 / \lambda_1 + \delta_2 s_2 / \lambda_2 + \dots + \delta_n s_n / \lambda_n, \quad (12)$$

где

$R_1, R_2, R_n$  - термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>°С)/Вт, определяемые по формуле (6);

$s_1, s_2, s_n$  - расчетный коэффициент теплоусвоения материала каждого слоя ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>°С), принимаемые по приложению I;

$\delta_1, \delta_2, \delta_n$  - толщина каждого слоя ограждающей конструкции, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$  - расчетный коэффициент теплопроводности каждого слоя ограждающей конструкции, Вт/(м°С), принимаемый по приложению I.

Показания  $\lambda$  и  $s$  выбираются из приложения I (графа 7 или 8, 9 или 10. соответственно) в соответствии с условиями эксплуатации конструкций А или Б в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности по таблице 3.

Показания тепловой инерции  $D$  должны находиться в допустимых пределах:

- Для массивных конструкций -  $D \geq 7$ ;

- Для конструкции со средней массивностью -  $4 \leq D < 7$ ;
- Для легких конструкций -  $1,5 \leq D < 4$ ;
- Для аэрированных конструкций –  $D < 1,5$ .

Теплозащитные свойства стен зависят от способности строительного материала передавать теплоту, что характеризуется коэффициентом теплопроводности. Чем меньше плотность материала, тем меньше коэффициент теплопроводности, тем лучше теплозащитные свойства конструкции.

Теплоустойчивость - тепловая инерция характеризует способность конструкции сохранять неизменным тепловое состояние внутренних слоев. Это состояние может нарушаться тепловыми волнами, распространяющимися в толще конструкции и вызванными суточными погодными изменениями температуры наружных поверхностей. Если тепловые волны угасают в толще конструкции до того, что амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности незначительна, значит, конструкция обладает хорошей тепловой инерцией. Хорошей тепловой инерцией обладают массивные конструкции из плотных материалов, кирпич, другие искусственные камни. Конструкции из материалов с малой массой не обладают такой инерцией.

## Пример. Теплотехнический расчет наружной стены

*Данные:*

Здание: промышленное, ремонтно-механическая мастерская на 40 условных ремонтов;

Место строительства: Ленинградская область;

Конструкция стен: однослойные газобетонные панели,  
плотность  $\gamma_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_v = 16^\circ\text{C}$ ;

Относительная влажность внутреннего воздуха  $W_B = 50 \%$ .

Необходимо собрать требующиеся данные, используя таблицы и приложение данного пособия.

По таблице 1 выбираем температуру наружного воздуха  $t_n$ ,  $^\circ\text{C}$  - наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, зону влажности района строительства:

$t_n = -29^\circ\text{C}$ :

Зона - влажная.

По таблице 2 определяем влажностный режим помещений производственного здания:

при  $t_v = 16^\circ\text{C}$  и  $W_B = 50 \%$  влажностный режим помещений — нормальный.

По таблице 3 определяем условия эксплуатации ограждающей конструкции:

при влажной зоне строительства и нормальном влажностном режиме помещения условия эксплуатации - Б. (Эти данные в дальнейшем будут использоваться при выборе теплотехнических показателей материала стены по приложению I).

Рассчитываем требуемое сопротивление теплопередачи  $R_0^{тр}$ ,  $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$  по формуле (1):

Выбираем необходимые данные:

коэффициент  $n = 1$  - по таблице 4;

нормативный температурный перепад  $\Delta t^n = 7^\circ\text{C}$  – по таблице 5;

коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})$  - по таблице 6.

$$R_0^{тр} = \frac{n \cdot (t_b - t_n)}{\Delta t^n \cdot \alpha_b} = \frac{1 \cdot (16 - (-29))}{7 \cdot 8,7} = 0,74 \frac{м^2 \cdot С}{Вт}$$

Определяем требуемую толщину наружной стены из газобетона  $\delta$ , м, по формуле (8):

Выбираем необходимые данные:

коэффициент теплоотдачи наружной поверхности конструкции для зимних условий  $\alpha_n = 23 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$  — по таблице 7;

расчетный коэффициент теплопроводности газобетона  $\lambda$ , с учетом условий эксплуатации конструкции — Б (по таблице 3), по Приложению I:  $\lambda = 0,47 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{C})$  (позиция 63 Приложения I).

$$\delta = [R_0^{тр} - (1/\alpha_b + 1/\alpha_n)] \lambda = [0,74 - (1/8,7 + 1/23)] 0,47 = 0,273 \text{ м}$$

В соответствии с предложенными стандартными размерами толщины стеновых панелей по таблице 8, выбираем окончательно принятую толщину наружной стены  $\delta = 300 \text{ мм}$ .

Проверяем теплозащитные свойства принятой конструкции, рассчитываем показатель тепловой инерции:

Выбираем необходимые данные:

толщина стеновой панели - принятая  $\delta = 0.3 \text{ м}$ ;

расчетный коэффициент теплоусвоения газобетона (при условиях эксплуатации Б, по табл. 3)  $s = 7,09 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{ }^\circ\text{C})$  - позиция 63 Приложения I.

$$D = Rs = \delta s / \lambda = 0.3 * 7.09 / 0.47 = 4.53$$

Показатель тепловой инерции  $D = 4,53$

попадает в пределы  $4 < 4.53 < 7$ , что соответствует конструкции средней массивности. Действительно, конструкция наружной стены из газобетонных панелей (при плотности газобетона  $\gamma_0 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$  конструкция должна быть легкая), но при толщине  $\delta = 300 \text{ мм}$ , конструкция может иметь среднюю массивность, что подтверждается расчетом.

Результаты расчета:

Запроектирована толщина наружной стеновой панели из газобетона

$$\delta = 300 \text{ мм}.$$

# РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ

## Введение

Определив, в соответствии с заданием, район строительства, грунтовые условия площадки проектируемого здания, конструктивную схему объекта строительства студент систематизирует исходные данные для проектирования. В задании, в основном, представлена схема здания состоящая из производственной части - каркасной или с несущими стенами, усиленными пилястрами, и административно-бытового помещения, спроектированного в виде пристройки с поперечными несущими стенами.

Для зданий каркасного типа применяются отдельно стоящие фундаменты в сборном или монолитном исполнении. Административно-бытовой корпус с кирпичными несущими стенами проектируется на ленточных фундаментах. Наиболее рациональными являются фундаменты на естественном основании. В тех случаях, когда передать давление от сооружения на естественное основание не представляется возможным, применяют свайные фундаменты или устраивают искусственно улучшенное основание. При проектировании и устройстве фундаментов необходимо комплексно рассматривать несколько факторов: климатические и инженерно-геологические условия площадки строительства, жесткость возводимой конструкции и способ производства работ, с учетом мер по обеспечению сохранения природной структуры грунтов основания. Если указанные факторы не учитывать при проектировании, то возможно развитие чрезмерных неравномерностей осадок, что приводит зачастую к аварийной ситуации. Однако в рамках учебного проектирования студенту достаточно учесть глубину промерзания грунта, зависящую от климатических условий района строительства, величину снеговой нагрузки, инженерно-геологические условия площадки строительства.

*Выбор типа и глубины заложения подошвы фундамента - один из главных этапов проектирования. Обычно чем выше располагается подошва фундамента, тем меньше стоимость работ по его устройству. Однако назначая глубину заложения в верхних слоях основания, следует помнить о влиянии метеорологических факторах, температурного режима здания и конструктивных особенностях сооружения (наличие подвала).*

*Необходимо отметить, что учет крановой нагрузки, при прочих равных условиях воздействия на конструкции, является определяющей в выборе наиболее нагруженного фундамента.*

При выполнении этих расчетов учитывается только один несущий слой основания достаточной мощности (глубины), в пределах которого практически загасают сжимающие напряжения, а следовательно и осадки. С учетом такого допущения расчет осадки фундамента может быть выполнен методом эквивалентного слоя.

Расчет и проектирование фундаментов следует начинать с оценки инженерно-геологических условий площадки строительства, согласно СНиП.

### **Оценка инженерно-геологических условий**

Исходные данные на расчет прочностных и деформационных характеристик грунтов основания студент определяет по таблице 9, где порядковый номер несущего слоя соответствует последней цифре номера зачетной книжке студента.

Используя исходные показатели из таблицы, определяются механические и физические свойства грунтов.

#### **1. Объемная масса (вес) скелета грунта (г/см<sup>3</sup>)**

$$\gamma_{ск} = \gamma_{II} / (1+W) , \quad (13)$$

где

$\gamma_{II}$  - объемная масса (вес) грунта, т.е. отношение массы всего грунта в образце, в т.ч. и массы воды, заключенной в порах, к объему образца;

$W$  - влажность грунта (в долях единицы), т.е. отношение массы воды к массе высушенного грунта;

$\gamma_{ск}$  - объемная масса (вес) скелета грунта, т.е. отношение массы (веса) минеральных частиц грунта в образце к объему всего образца.

#### **2. Коэффициент пористости**

$$e_0 = (\gamma_s - \gamma_{ск}) / \gamma_{ск} , \quad (14)$$

где

$\gamma_s$  - удельная масса грунта, т.е. отношение массы твердых (минеральных) частиц грунта к их объему;

$e_0$  - природное (начальное) значение коэффициента пористости, т.е. отношение объема пор грунта к объему его скелета.

На основании табл. 10 для песчаных грунтов следует сделать заключение о плотности сложения грунтов, используя полученное значение коэффициента пористости эту важнейшую характеристику природной уплотненности грунтов.



Таблица 9

**Определение варианта задания для выполнения курсовой работы**

№ п/п	Грунт основания	Уровень грунтовых вод от отметки планировки, м	Удельная масса грунта $\gamma_s$ , г/см	Объемная масса грунта $\gamma_{ц}$ , г/см <sup>3</sup>	Природная влажность грунта W	Влажность на границе текучести WL	Влажность на границе раскатывания Wp	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление $C_{ц}$ , МПа	Модуль деформации E, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Глина (ленточная)	2,2	2,75	1,94	0,34	0,41	0,21	20	0,04	10
2	Глина (бурая)	2,4	2,74	1,93	0,23	0,34	0,18	19	0,034	20
3	Глина (темносерая)	1,6	2,72	2,0	0,28	0,46	0,26	20	0,038	13
4	Суглинок (бурый)	0,9	2,71	2,10	0,18	0,25	0,12	25	0,012	24
5	Суглинок	2,5	2,71	2,0	0,20	0,30	0,13	24	0,008	16
6	Суглинок (моренный)	3,0	2,73	1,96	0,24	0,35	0,22	18	0,05	18
7	Супесь	1,2	2,70	1,92	0,20	0,25	0,20	20	0,002	11
8	Супесь (серая)	0,9	2,68	2,03	0,22	0,25	0,20	20	0,004	12
9	Песок (мелкий)	1,3	2,66	1,94	0,21	-	-	28	-	18
0	Песок (пылеватый)	1,8	2,65	2,02	0,20	-	-	26	0,003	14

Таблица 10

Вид песков	Плотность сложения песков		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Гравелистые, крупные и средней крупности	$e_0 < 0,55$	$0,55 \leq e_0 \leq 0,7$	$e_0 > 0,7$
Мелкие	$e_0 < 0,6$	$0,6 \leq e_0 \leq 0,75$	$e_0 > 0,75$
Пылеватые	$e_0 < 0,6$	$0,6 \leq e_0 \leq 0,8$	$e_0 > 0,8$

### 3. Пористость

$$n = \frac{e_0}{1 + e_0}, \quad (15)$$

где

$n$  – пористость грунта, т.е. объем пор для единицы объема грунта.

### 4. Степень влажности

$$G = \frac{W \cdot \gamma_s}{e_0 \cdot \gamma_w}, \quad (16)$$

где

$\gamma_w$  – удельная масса воды;

$$W_{\Pi} = \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \cdot e_0, \quad (17)$$

где

$W_{\Pi}$  - полная влагоемкость грунта, т.е. влажность, теоретически соответствующая полному заполнению пор водой.

Располагая вычисленным значением степени влажности для грунтов, имеющих жесткий скелет (пески, пылеватые грунты), появляется возможность охарактеризовать их по степени водонасыщенности

маловлажные	- $0 \leq G \leq 0,5$ ;
влажные	- $0,5 < G \leq 0,8$ ;
насыщенные водой	- $0,8 < G \leq 1$ .

Степень влажности для указанных грунтов, имеющих мало изменяющуюся пористость, в известной мере характеризует свойства грунтов как оснований для сооружений. Для глинистых же грунтов коэффициент водонасыщенности будет близок к единице, и для них более существенное значение имеют общее содержание воды и обусловленная им степень связанности. К связным грунтам относят, главным образом, различные глины и суглинки. Для этих грунтов естественная плотность, а следовательно, и несущая способность зависит от их консистенции (густоты). В зависимости от содержания воды консистенция глинистых грунтов меняется в значительных пределах и может быть текучей, пластичной или твердой (имеются и промежуточные определения консистенции).

В механике грунтов принято консистенцию глинистых грунтов связывать с характеристиками так называемых пределов Аттерберга: граница текучести и граница раскатывания. Граница текучести соответствует такой влажности грунтового образца, при незначительном превышении которой грунт переходит в текучее состояние. Граница раскатывания (пластичности) соответствует влажности грунта, при незначительном уменьшении которой пластичное тесто, приготовленное из грунта и воды, при раскатывании в жгут крошится, т.е. перестает быть пластичным. Граница текучести  $W_L$  и граница раскатывания  $W_p$  выражаются численно, как соответствующие влажности.

5. Число пластичности

$$I_p = W_L - W_p \quad (18)$$

Используя вычисленное значение числа пластичности, можно определить вид глинистого грунта:

супень	- $0,01 \leq I_p \leq 0,07$ ;
суглинок	- $0,07 < I_p \leq 0,17$ ;
глина	- $I_p > 0,17$ .

## 6. Показатель консистенции глинистого грунта

$$I_L = (W - W_p) / (W_L - W_p) \quad (19)$$

Определив показатель консистенции, можно уточнить наименование глинистого грунта (СНиП II-15-74).

### Супеси:

- твердые -  $I_L < 0$ ;
- пластичные -  $0 < I_L < 1$ ;
- текучие -  $I_L > 1$ .

### Суглинки и глины:

- твердые -  $I_L < 0$ ;
- полутвердые -  $0 \leq I_L \leq 0,25$ ;
- тугопластичные -  $0,25 < I_L \leq 0,50$ ;
- мягкопластичные -  $0,50 < I_L \leq 0,75$ ;
- текучепластичные -  $0,75 < I_L \leq 1$ ;
- текучие -  $I_L > 1$ .

## 7. Коэффициент относительной сжимаемости грунта.

Сжимаемость грунтов является важным их свойством, существенно отличающим грунты от горных пород и других твердых тел, и заключается в способности грунтов изменять свое строение и структуру под влиянием внешних воздействий, в том числе и сжимающей нагрузки за счет уменьшения пористости грунта. Процесс изменения объема грунтов под нагрузкой обусловлен их уплотнением. Испытание образцов грунта, имеющих природную плотность (пористость) и влажность, под действием вертикальной нагрузки позволяет построить экспериментальную кривую зависимости изменения коэффициента пористости от внешнего давления, называемую компрессионной кривой. Величина, характеризующая изменение коэффициента пористости в выбранном интервале давлений, называется коэффициентом сжимаемости ( $a$ ), который численно равен тангенсу угла наклона касательной к компрессионной кривой или секущей, проведенной в интервале интересующих давлений ( $\text{см}^2/\text{кгс}$ )

$$a = \text{tg } \alpha = (e_0 - e_{II}) / (P_{II} - P_0) \quad , \quad (20)$$

где

$e_0$  - начальное (природное) значение коэффициента пористости;  
 $e_{II}$  - конечное значение коэффициента пористости в выбранном диапазоне давлений.

Коэффициент сжимаемости используется при расчете осадок фундамента. Весьма важной характеристикой сжимаемости грунтов является модуль деформации  $E$  (МПа), связанный с коэффициентом сжимаемости зависимостью

$$E = (\beta_0 (1+e_0)) / a = \beta_0/a_0 \quad (21)$$

$$\beta_0 = 1 - ((2 \mu^2 / (1-\mu)) ,$$

где

$\beta_0$ - безразмерный коэффициент, в свою очередь зависящий от коэффициента бокового расширения грунта (коэффициента Пуассона)  $\mu$ ;

$$a_0 = a / (1+e_0) \quad (22)$$

$a_0$ - приведенный коэффициент сжимаемости.

Можно принять следующие рекомендуемые величины  $\mu$  для различных видов грунтов:

песчаных	- 0,27;
супесей и суглинков	- 0,35;
глин	- 0,40.

После вычисления значения приведенного коэффициента сжимаемости можно сделать заключение о степени сжимаемости грунта основания, при этом следует использовать следующую классификацию грунтов ( $\text{см}^2/\text{кгс}$ ):

$a_0 \geq 0,05$ -	сильно сжимаемые;
$0,005 < a_0 \leq 0,05$ -	средней сжимаемости;
$a_0 < 0,005$ -	слабо сжимаемые.

При оценке инженерно-геологических условий студент на основании полученных исходных данных и вычисленных характеристик должен в пояснительной записке сделать общее заключение о возможности использования грунтов в качестве естественного основания, охарактеризовав грунты по консистенции, водонасыщенности, пористости и сжимаемости (см. пример).

## Определение размеров подошвы фундамента

Расчет основания по расчетному сопротивлению грунта является этапом проектирования оснований по деформациям, поэтому его проводят на основное сочетание расчетных нагрузок по СНиП.

В основное сочетание нагрузок входят постоянно действующие (постоянные нагрузки от собственного веса конструкций) и временные нагрузки, принимаемые с соответствующими коэффициентами сочетания, согласно требованиям СНиП 2.01.07-85\* стр. 2-3.

Вертикальная расчетная нагрузка ( $N_{II}$ ), действующая в уровне верхнего обреза фундамента определяется суммированием нагрузок по основному сочетанию. При выполнении расчетов по сбору нагрузок следует помнить, что вес ограждающих конструкций передается через ранд-балку (фундаментную балку) на фундамент.

Кроме  $N_{II}$  на основание передаются расчетные значения веса фундамента  $G_{фн}$  (в первом приближении столбчатый фундамент назначается с размером подошвы 1,3 x 1,3 м) и грунта обратной засыпки, расположенной над уступами и наклонными гранями,  $G_{гн}$ . Сумма этих нагрузок уравнивается реактивным давлением  $P_{II}$ .

Если обозначить неизвестное значение площади подошвы фундамента  $A$  и составить сумму проекций всех сил на вертикальную ось, то уравнение равновесия получим в виде:

$$P_{II} = (N_{II} + G_{фн} + G_{гн}) / F \quad (23)$$

Величина  $P_{II}$  должна удовлетворять условию

$$P_{II} \leq R \quad (24)$$

Сумму  $G_{фн}$  и  $G_{гн}$  можно найти с некоторым приближением из выражения

$$G_{фн} + G_{гн} = \gamma_m F h, \quad (25)$$

где

$\gamma_m$  - средний удельный вес грунта и материалов, (принимается в расчетах равным  $23000 \text{ Н/м}^3$ , или  $23 \text{ кН / м}^3$ );

$F$  — площадь подошвы фундамента;

$h$  - глубина заложения фундамента от планировочной поверхности.

После составления расчетной схемы определяется предварительное значение расчетного сопротивления  $R_{II}$  при условном значении ширины подошвы фундамента «b» равной 1м. В случае отсутствия подвала формула для  $R_{II}$  имеет вид:

$$R_{II} = \frac{m_1 \cdot m_2}{K_H} \cdot [(A \cdot b + B \cdot h) \cdot \gamma_{II} + D \cdot C_{II}] , \quad (26)$$

где

$m_1$  - коэффициент условий работы грунтового основания, рекомендуется принять равным 1.1;

$m_2$  - коэффициент условий работы здания и сооружения во взаимодействии с основанием, принимается равным 1.1;

$K_H$  - коэффициент надежности принимается в зависимости от метода определения расчетных характеристик грунта, для  $C_{II}$  и  $W_{II}$  определенных испытаниями –  $K_H = 1$ ;

$h$  - глубина заложения фундамента (от поверхности планировки до подошвы фундамента);

$b$  - ширина подошвы фундамента (предварительно назначается  $b=1$ м);

$A, B, D$  - безразмерные коэффициенты, принимаемые по табл.11, в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения  $\varphi_{II}$ ;

$C_{II}$  - расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента.

Ориентировочная площадь подошвы столбчатого фундамента  $F, м^2$  определяется, согласно:

$$F = \frac{N_{II}}{R - \gamma_{cp} \cdot h} , \quad (27)$$

где

$N_{II}$  - суммарная расчетная нагрузка,

$\gamma_{cp} = 2,3$  тс / м<sup>2</sup>.

Если фундамент в плане имеет очертание в виде квадрата, то сторона подошвы фундамента определяется, как  $b = \sqrt{F}$  (м) если в виде прямоугольника, то

$$b = \sqrt{F / k} \quad (28)$$

при

$$k = a / b = (1 - 1,5) , \quad (29)$$

где

b - меньшая сторона подошвы фундамента,  
a - большая.

Уточняем размеры монолитного или сборного фундамента, имеющего типовые размеры, с размерами и площадью подошвы, близкой к расчетной.

Уточняем значение расчетного сопротивления R при выбранных размерах подошвы фундамента.

Определяем среднее фактическое давление по подошве фундамента  $P_{II}$  с учетом собственной массы (веса) фундамента  $G_{II}^{\phi}$  и массы (веса) грунта на его обрезах  $G_{II}^{rp}$  (МПа):

$$P_{II} = \frac{N_{II} + G_{II}^{\phi} + G_{II}^{rp}}{F} \quad (30)$$

Сопоставляем фактическое давление  $P_{cp}$  с уточненным расчетным R. Необходимо, чтобы соблюдалось условие:

$$((R - P_{II})/R) * 100\% \leq 5\% \quad (31)$$

В этом случае размеры фундамента выбраны экономически целесообразными. Если это условие не соблюдается, необходимо откорректировать размеры подошвы фундамента так, чтобы это условие соблюдалось.

Ширина подошвы ленточного фундамента определяется по аналогичной методике, но суммарную расчетную нагрузку необходимо подсчитывать на 1 метр длины ленточного фундамента.

Расчет осадки фундамента осуществляется в соответствии с указанием СНиП по методу послойного суммирования. При выполнении (по желанию студента) научно-исследовательской работы студент рассчитывает осадку этого же фундамента каким-либо другим известным методом, например, методом эквивалентного слоя, а затем сопоставляет полученные значения осадки.



## Пример расчета фундаментов

### Оценка инженерно-геологических условий.

1. Объемная масса (вес) скелета грунта:

$$\gamma_{ск} = \gamma_{II} / (1 + W)$$

$\gamma_{II}$  - объемная масса (вес) грунта, т.е. отношение массы всего грунта в образце, в т.ч. и массы воды, заключенной в порах, к объему образца;  $\gamma_{II} = 1,93$

$W$  - влажность грунта, т.е. отношение массы воды к массе высушенного грунта;  $W = 0,23$

$\gamma_{ск}$  - объемная масса (вес) скелета грунта, т.е. отношение массы (веса) минеральных частиц грунта в образце к объему всего образца.

$$\gamma_{ск} = 1,93 / (1 + 0,23) = 1,57 \text{ г/см}^3$$

2. Коэффициент пористости:

$$e_0 = (\gamma_s - \gamma_{ск}) / \gamma_{ск}$$

$\gamma_s$  - удельная масса грунта, т.е. отношение массы твердых (минеральных) частиц в грунтах к их объему;  $\gamma_s = 2,54$

$e_0$  - природное (начальное) значение коэффициента пористости, т.е. отношение объема пор грунта к объему скелета.

$$e_0 = (2,54 - 1,57) / 1,57 = 0,62$$

Вывод: исходя из значения коэффициента пористости грунт представляет собой глину бурую.

3. Пористость:

$$n = e_0 / (1 + e_0) = 0,62 / (1 + 0,62) = 0,38$$

$n$  - пористость грунта, т.е. объем пор для единицы объема грунта.

4. Степень влажности:

$$G = W * \gamma_s / e_0 * \gamma_w$$

$\gamma_w$  - удельная масса воды;

$$G = 0,23 * 2,54 / 0,62 * 1 = 0,9$$

Так как степень влажности  $G = 0,94$  - то грунт является

насыщенный водой ( $0,8 < G < 1$ )

5. Число пластичности:

$$I_p = W_L - W_P = 0,30 - 0,13 = 0,17$$

Вид глинистого грунта:  $0,07 < I_p \leq 0,17$  - суглинок.

6. Показатель консистенции глинистого грунта:

$$I_L = (W - W_P) / (W_L - W_P) = (0,23 - 0,13) / 0,17 = 0,53$$

Суглинок имеет мягкопластичную консистенцию.

7. Коэффициент относительной сжимаемости грунта:

Сжимаемость грунта является характернейшим его свойством и заключается в способности грунта изменять свое строение и структуру под влиянием внешних воздействий, в том числе и сжимающей нагрузки за счет уменьшения пористости грунта. Процесс изменения объемов грунта под нагрузкой обусловлен их уплотнением.

$$E = \beta_0(1 + e_0) / \alpha,$$

где

$\beta_0 = 1 - (2\mu^2 / 1 - \mu) = 1 - (2 * 0,4^2 / 1 - 0,4) = 0,47$  - безразмерный коэффициент, в свою очередь зависящий от коэффициента бокового расширения грунта (коэффициента Пуассона);  $\mu = 0,4$  для глиняных грунтов.

$$\alpha_0 = \beta_0 / E = 0,47 / 20 = 0,0235$$

$\alpha_0$  - приведенный коэффициент сжимаемости.

Так как  $\alpha_0 = 0,024$ , то степень сжимаемости основания - средняя ( $0,005 < \alpha_0 < 0,05$ )

**Заключение:** площадка пригодна для возведения сооружения. В основании фундаментов здания залегает грунт средней сжимаемости, влажная бурая глина.

**Определение расчетного давления на грунт основания.**

Расчетное давление:

$$R = \frac{m_1 * m_2 [(Ab + Bh)\gamma_{II} + DC_{II}]}{k_n}$$

где

$m_1$  - коэффициент условий работы грунтового основания; рекомендуется принять равным 1,1

$m_2$ - коэффициент условий работы здания или сооружения во взаимодействии с основанием; рекомендуется принять равным 1,1

$k_n$ - коэффициент надежности ;принимается в зависимости от метода определения расчетных характеристик грунта-рекомендуется принять равным 1,0

$h$ - глубина заложения фундамента;  $h=1,3$  м

$b$ - ширина подошвы фундамента;  $b=1$  м

$A, B, D$ - безразмерные коэффициенты (табл.11), принимаемые в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения  $\varphi_{II}$

$A=0,72$

$B=3,87$

$D=6,45$

Таблица 11

Расчетное значение угла внутреннего трения $\varphi_{II}$ ,град	Коэффициенты		
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>D</b>
18	0,43	2,72	5,31
19	0,47	2,89	5,48
20	0,51	3,06	5,66
24	0,72	3,87	6,45
25	0,78	4,12	6,67
26	0,84	4,37	6,90
28	0,93	4,93	7,40

$C_{II}$ - расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента;  $C_{II} = 1$

$R = \frac{1,1 \cdot 1,1}{1} [(0,72 \cdot 1 + 3,87 \cdot 1,3) \cdot 1,92 + 6,45 \cdot 1] = 21,4 \text{ тс/м}^2 = 0,214 \text{ МПа}$

1

### Определение ориентировочной площади подошвы фундамента.

$$F = \frac{N_{II}}{R - \gamma_{cp} \cdot h}$$

$N_{II}$ - суммарная расчетная нагрузка

$\gamma_{cp} = 2,3 \text{ тс/м}^2$  (средний объемный вес грунта на обрезах фундамента и материала фундамента)

## Определение сбора нагрузок, действующих на фундамент.

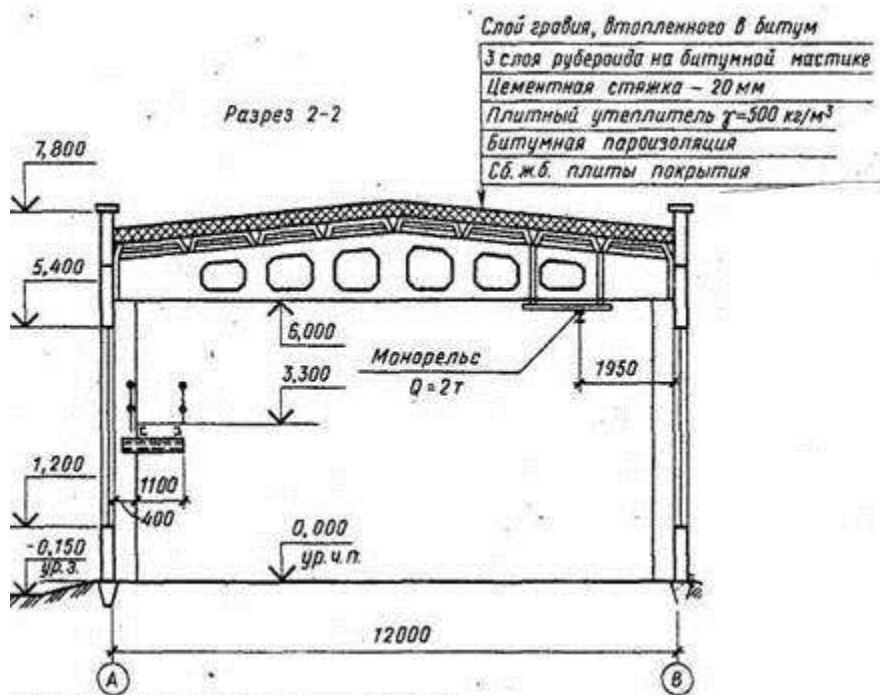


Рис.4а.

Вид и расчет нагрузки	Нормативная загрузка, Н	Коэф. надежности по нагрузке. $\gamma_f$	Расчетная нагрузка, Н
<b>Постоянная (от собственного веса конструкции)</b>			
Масса 1 м <sup>2</sup> покрытия, ж/б панель ПНС, массой 23000, размером 3 × 6 = 18 м <sup>2</sup> 23000 : 18 = 1280 Н/м <sup>2</sup>	1280	1,1	1408
Пароизоляция битумная	5	1,2	6,0
Утеплитель (арболит с $\rho=4000 \text{ Н/м}^3$ ), толщиной 0,09 м 0,09 × 1 × 4000 = 360 Н	360	1,2	432
Цементная стяжка с $\rho=20000 \text{ Н/м}^3$ толщиной 0,025 м 0,025 × 1 × 20000 = 500 Н	500	1,2	600
покрытие – наплавляемый битумный материал	50	1,1	55
Итого :	$g^H=2195 \text{ Н}$		$g=2501 \text{ Н}$

Нагрузка на одну опору покрытия (п.10.рис.4) $36 \times 2501 = 90036$			90036
Масса двухскатной ж/б балки 1Б1-12-2 (п.9) 41000 Н на одну опору	20500	1,1	22550
Нагрузка на фундамент от массы стены (кирпич) п.12. $P=(F_{ст}-F_{ок}) \times \rho \times \delta$	123120	1,2	147744
Масса опоры (п.8 рис.4) (колонны сечением 0,4×0,4) $g_{оп} = f \times H \times \rho_0 = 0.4 \times 0,4 \times 6 \times 25000 = 24000Н$	24000	1,1	26400
Масса фундаментной балки длиной 5 м (п.5 рис.4) $1,3т = 13000Н$	13000	1,1	14300
<b>Временная</b>			
Кратковременная от крана на одну опору- $Q = 2т$	20000	1,2	24000
Кратковременная от снега для г.Лодейное Поле ( 4 район)- $1500Н/м^2$ $1500 \times 36 = 54000Н$	25200	1,4	75600

Итого: суммарная расчетная нагрузка на фундамент

$N_{II} = 400\ 630Н$

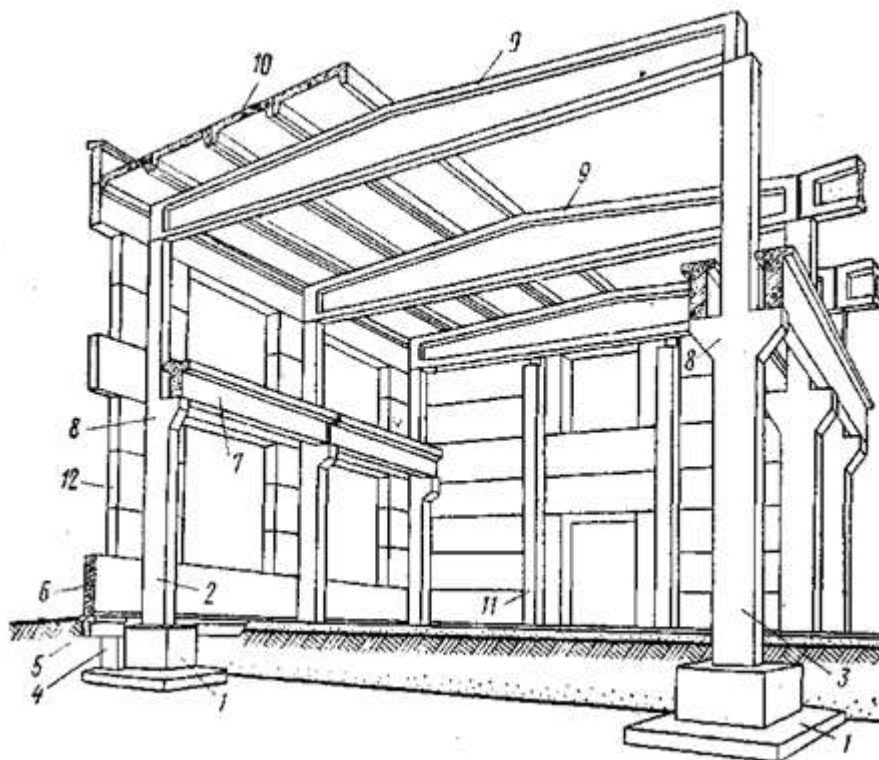


Рис 4. 1. Ступень фундамента, 2. Колонна, 3. Средняя колонна, 4. Столбик под ФБ, 5. Фундаментная балка, 6. Стеновая панель, 7. Подкрановая балка, 8. Консоль колонны, 9. ЖБ Балка 12м, 10. Плиты покрытия (ПП). 11. Колонна торцевого фахверка.

$$F = N_{II} / (R - \gamma_{cp} \times h) = 400\ 630 / (214000 - 23000 \times 1,3) = 2,18 \text{ кв. м.}$$

1. Определяем ширину подошвы фундамента, м:

$$b = \sqrt{F} = \sqrt{2,18} = 1,48 \text{ м}$$

Выбираем монолитный железобетонный фундамент размером 1,5 × 1,5 × 0,3

2. Уточняем расчетное сопротивление при b = 1,5 м:

$$R = \frac{1,1 * 1,1 [(0,72 \times 1,5 + 3,87 \times 1,3) \times 1,92 + 6,45 \times 1]}{1} = 2,2 \text{ кгс/см}^2 = 0,215 \text{ МПа} *$$

$$* 2,2 \text{ кгс/см}^2 \times 9,8 \times 10^{-2} = 0,215 \text{ МПа}$$

3. Определяем среднее фактическое давление по подошве фундамента с учетом собственной массы фундамента и массы грунта на его обрезах:

$$P_{II} = \frac{N_{II} + G_{II}^{\phi} + G_{II}^{gp}}{F}$$

$$G_{II}^{\phi} = 2,18 \times 25000 = 54550 \text{ Н}$$

$$V_{\text{грунта}} = V_{\text{об}} - V_{\phi} = 3,60 - 2,18 = 1,42 \text{ м}^3$$

$$G_{II}^{gp} = 1,42 \times 19200 = 27264 \text{ Н}$$

$$P_{II} = \frac{400630 + 54550 + 27264}{2,25} = 0,214$$

Сопоставляем фактическое давление  $P_{cp}$  с уточненным расчетным давлением на основании R:

$$\frac{R - P_{cp}}{R} \cdot 100 \% \leq 5 \%$$

$$\frac{0,223 - 0,214}{0,214} \cdot 100 \% = 4 \%$$

Считаем возможным оставить выбранный размер фундамента, глубина заложения фундамента - 1,5 м.

## Расчет осадки столбчатого фундамента

Зная характер работы грунтов основания, прочностные и деформационные показатели, можно определить осадку грунта.

Рассмотрев конечную осадку поверхности слоя грунта при сплошной нагрузке (одномерная задача уплотнения, соответствующая условиям компрессорных испытаний образцов грунта, без возможности бокового расширения), можно найти величину осадки фундамента.

Пусть к поверхности слоя грунта толщиной  $h$ , лежащего на несжимаемой скальной породе, приложена сплошная нагрузка интенсивностью  $p$ , см. рис. 5.

### Определение конечной осадки поверхности слоя грунта при сплошной нагрузке (одномерная задача уплотнения)

Пусть к поверхности слоя грунта толщиной  $h$  (рис.5), лежащего на несжимаемой скальной породе, приложена сплошная нагрузка (распространенная в стороны на очень большие расстояния) интенсивностью  $p$ . В этом случае грунт будет испытывать сжатие без возможности бокового расширения. Это соответствует одномерной задаче уплотнения грунта под действием вертикальной нагрузки при компрессионных испытаниях. Поэтому для определения деформации рассматриваемого слоя можно воспользоваться компрессионной кривой этого грунта (рис.5).

Выделим из слоя грунта прямоугольный параллелепипед ABCD с площадью основания  $A$  и примем, что при деформации грунта объем содержащихся в нем твердых частиц не изменяется. Составим уравнение деформации, исходя из равенства объема твердых частиц грунта до и после нагружения

$$(1/(1+e_1))*A*h=(1/(1+e_2))*A*h , \quad (32)$$

где

$e_1$  - начальный коэффициент пористости грунта природного сложения, уплотненного под действием давления  $p_1$ , равного среднему напряжению от его собственного веса (под действием природных напряжений);



$e_2$  - коэффициент пористости грунта после приложения дополнительного (сверх природного) давления  $p$ , определяемый по компрессионной кривой (см. рис. 3 );

$h$  - конечная (стабилизированная после уплотнения) толщина слоя грунта.

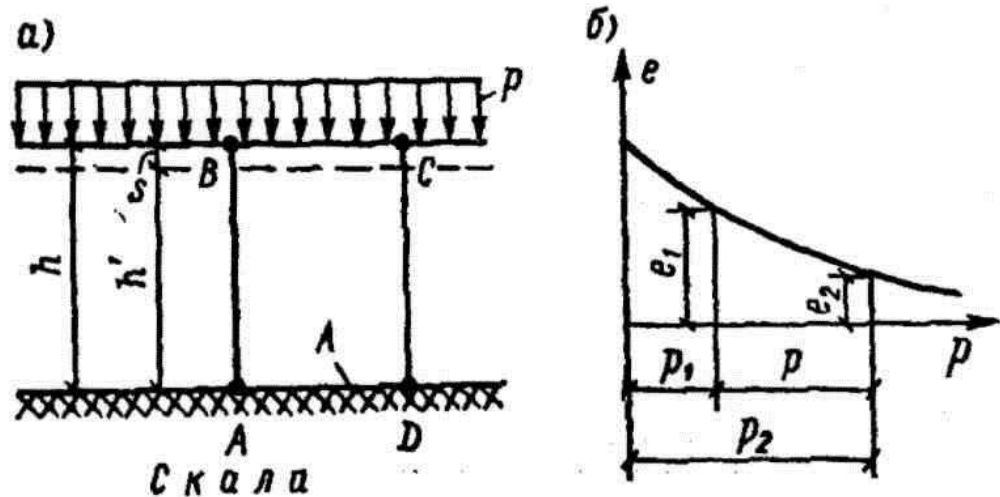


Рис. . Схема к расчету осадки поверхности слоя грунта при сплошной нагрузке:

*a* - слой грунта, нагруженный сплошной нагрузкой;

*б* - компрессионная кривая

Решая уравнение (32), найдем

$$h = h (1+e_2) / (1+e_1) \quad (33)$$

$$e_1 - e_2 = m_0 p$$

$$s = h - h' = h [1 - (1+e_2)/(1+e_1)] = h(e_1 - e_2)/(1+e_1)$$

$$m_0 = (e_1 - e_2)/(p_2 - p_1) = (e_1 - e_2)/p$$

найдем

$$s = h \cdot \frac{m_0}{1 + e_1} \cdot p$$

Дробь в этом выражении, является коэффициентом относительной сжимаемости  $m_0$ . Тогда формула для определения конечной (стабилизированной) осадки поверхности слоя грунта при сплошной нагрузке будет иметь вид:

$$s = h \cdot m_0 \cdot p \quad (34)$$

Если коэффициент относительной сжимаемости грунта выразить согласно формуле через модуль деформации  $E_0$ , то получим

$$s = h \cdot \left( \frac{\beta}{E_0} \right) \cdot p \quad , \quad (35)$$

где

$\beta$ - коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения грунта;

$h$ - толщина слоя грунта, к поверхности которого приложена сплошная нагрузка интенсивностью  $p$  (иначе говоря – толщина эквивалентного слоя).

Толщина эквивалентного слоя- осадка поверхности слоя при сплошной нагрузке равна осадке фундамента

$$h = A_v \omega b \quad (36)$$

$A_v \omega$  – коэффициент эквивалентного слоя, определяется по таблице 12

Таблица 12

Коэффициент эквивалентного слоя

$\eta = l/b$	Гравий и галька	Пески		Суглинки пластичные		Глины сильно-пластичные
	Глины и суглинки твердые		Супеси		Глины пластичные	
	При значении $\mu$ (коэфф. бокового расширения)					
	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
1	0,89	0,94	0,99	1,08	1,24	1,58
1,5	1,09	1,15	1,21	1,32	1,52	1,94
2	1,23	1,30	1,37	1,49	1,72	2,20
3	1,46	1,54	1,62	1,76	2,01	2,59
4	1,63	1,72	1,81	1,97	2,26	2,90
5	1,74	1,84	1,94	2,11	2,42	3,10
Более 10	2,15	2,26	2,38	2,60	2,98	3,82

С учетом этого получим окончательное выражение для определения осадки фундамента:

$$s = h m_v p_0 \quad (37)$$

## Примеры и некоторые указания по сбору нагрузок

**Пример 1.** Плотность железобетона  $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$ , определить удельный вес железобетона.

Решение.

1. Вычисляем удельный вес железобетона  $\gamma = \rho g \approx 2500 \cdot 10 = 25000 \text{ Н/м}^3 = 25 \text{ кН/м}^3$ .

**Пример 2.** Определить нагрузку от собственного веса железобетонной колонны по следующим данным: сечение колонны  $bh = 300 \times 300 \text{ мм}$ , высота  $l = 4,5 \text{ м}$ .

Решение.

Находим объем колонны  $V = bhl = 0,3 \cdot 0,3 \cdot 4,5 = 0,405 \text{ м}^3$ .

Принимая плотность железобетона из примера 1, находим нормативную нагрузку от собственного веса колонны  $N_n = V \cdot \gamma = 0,405 \cdot 25 = 10,125 \text{ кН}$ .

Определяем расчетную нагрузку от собственного веса колонны, принимая коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,1$  (табл. 1 СНиП 2.01.07-85\*),  $N = N_n \cdot \gamma_f = 10,125 \cdot 1,1 = 11,138 \text{ кН}$ .

Нагрузку от собственного веса сборных железобетонных конструкций можно определить, пользуясь массами этих конструкций, которые указаны в каталогах.

**Пример 3.** В соответствии с данными каталога сборная железобетонная балка имеет массу  $m = 1,5 \text{ т}$ , определить нагрузку от собственного веса балки.

Решение.

1. Определяем нормативную нагрузку  $N_n = mg = 1,5 \cdot 10 = 15 \text{ кН}$  (если вместо тонн подставить килограммы, то получим ньютоны).

2. Определяем расчетную нагрузку  $N = N_n \cdot \gamma_f = 15 \cdot 1,1 = 16,5 \text{ кН}$ . Для определения нагрузки от собственного веса стальных конструкций учитывают, что плотность стали принимается  $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ , или пользуются массами погонного метра проката, которые приводятся в сортаменте прокатных элементов.

**Пример 4.** Определить нагрузку от собственного веса равнополочного уголка  $50 \times 50 \times 5$ , длиной  $l = 5,0 \text{ м}$ .

Решение.

В соответствии с сортаментом уголков масса 1 м длины  $G = 3,77 \text{ кг/м}$ . Нормативная нагрузка от уголка  $N_n = Ggl = 3,77 \cdot 10 \cdot 5,0 = 188,5 \text{ Н} = 0,1885 \text{ кН}$ .

Расчетная нагрузка от собственного веса уголка  $N = N_n \cdot \gamma_f = 0,1885 \cdot 1,05 \approx 0,198 \text{ кН}$ .

При определении нагрузок от часто встречающихся стандартных плит перекрытия нормативная нагрузка, приходящаяся на  $1 \text{ м}^2$ , определяется

заранее и выписывается в таблицу, так же поступают с рулонными и листовыми материалами (табл. 3.2).

Временные нагрузки на перекрытия зданий различного назначения, как уже отмечалось, принимают по табл. 3 СНиП 2.01.07-85\*. В таблице дается полное и пониженное значение нагрузки, пониженное значение нагрузки соответствует длительной части временной нагрузки.

## ПРИЛОЖЕНИЕ I

### ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчетное массовое		Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)			
	Плотность $\gamma_0$ кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость $c_0$ , кДж/кг·°С	Коэфф. теплопроводности $\lambda_0$ , Вт/м <sup>2</sup> ·°С	отношение влаги в материале (при условиях эксплуатации, %)		Теплопроводности Вт/(м·°С)		Теплоусвоения (при периоде 24ч) $s_0$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	
				А	Б	А	Б	А	Б
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>I. Бетоны и растворы</b>									
<i>А. Бетоны на природных плотных заполнителях</i>									
1. железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95
2. бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88
<i>Б. Бетоны на природных пористых заполнителях</i>									
3. туфобетон	1800	0,84	0,64	7	10	0,87	0,99	11,38	12,79
4. “	1600	0,84	0,52	7	10	0,70	0,81	9,62	10,91
5. “	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63
6. “	1200	0,84	0,29	7	10	0,41	0,47	6,38	7,20
7. пемзобетон	1600	0,84	0,52	4	6	0,62	0,68	8,54	9,30
8. “	1400	0,84	0,42	4	6	0,49	0,54	7,10	7,76
9. “	1200	0,84	0,34	4	6	0,40	0,43	5,94	6,41
10. “	1000	0,84	0,26	4	6	0,30	0,34	4,69	5,20
11. “	800	0,84	0,19	4	6	0,22	0,26	3,60	4,07
12. бетон на вулканическом шлаке	1600	0,84	0,52	7	10	0,64	0,70	9,20	10,14
13. “	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63
14. “	1200	0,84	0,33	7	10	0,41	0,47	6,38	7,20

15. “	1000	0,84	0,24	7	10	0,29	0,35	4,90	5,67
16. “	800	0,84	0,20	7	10	0,23	0,29	3,90	4,61
<i>В. Бетоны на искусственных пористых заполнителях</i>									
17. керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетоне	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,50	12,33
18. “	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77
19. “	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14
20. “	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57
21. “	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13
22. “	800	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,38	4,77
23. “	600	0,84	0,16	5	10	0,20	0,26	3,03	3,78
24. “	500	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25
25. керамзитобетон на кварцевом песке с поризацией	1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,52	6,77	7,72
26. “	1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35
27. “	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,90
28. керамзитобетон на перлитовом песке	1000	0,84	0,23	9	13	0,35	0,41	5,57	6,43
29. “	800	0,84	0,22	9	13	0,29	0,35	4,54	5,32
30. шунгизитобетон	1400	0,84	0,49	4	7	0,56	0,64	7,59	8,60
31. “	1200	0,84	0,36	4	7	0,44	0,50	6,23	7,04
32. “	1000	0,84	0,27	4	7	0,33	0,38	4,92	5,60
33. перлитобетон	1200	0,84	0,29	10	15	0,44	0,50	6,96	8,01
34. “	1000	0,84	0,22	10	15	0,33	0,38	5,50	6,38
35. “	800	0,84	0,16	10	15	0,27	0,33	4,45	5,32
36. “	600	0,84	0,12	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84
37. шлакопемзобетон (термозитобетон)	1800	0,84	0,52	5	8	0,63	0,76	9,32	10,31
38. “	1600	0,84	0,41	5	8	0,52	0,63	7,98	9,29
39. “	1400	0,84	0,35	5	8	0,44	0,52	6,87	7,90
40. “	1200	0,84	0,29	5	8	0,37	0,44	5,83	6,73
41. “	1000	0,84	0,23	5	8	0,31	0,37	4,87	5,63
42. шлакопемзобетон и шлакопемзогазобетон	1600	0,84	0,41	8	11	0,63	0,70	9,29	10,31

43.	“	1400	0,84	0,35	8	11	0,52	0,58	7,90	8,78
44.	“	1200	0,84	0,29	8	11	0,41	0,47	6,49	7,31
45.	“	1000	0,84	0,23	8	11	0,35	0,41	5,48	6,24
46.	“	800	0,84	0,17	8	11	0,29	0,35	4,46	5,15
47.	бетон на до- менных грану- лированных шлаках	1800	0,84	0,58	5	8	0,70	0,81	9,82	11,18
48.	“	1600	0,84	0,47	5	8	0,58	0,64	8,43	9,37
49.	“	1400	0,84	0,41	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34
50.	“	1200	0,84	0,35	5	8	0,47	0,52	6,57	7,31
51.	аглопорито- бетон и бетоны на топливных (котельных) шлаках	1800	0,84	0,70	5	8	0,85	0,93	10,82	11,98
52.	“	1600	0,84	0,58	5	8	0,72	0,78	9,39	10,34
53.	“	1400	0,84	0,47	5	8	0,59	0,65	7,92	8,83
54.	“	1200	0,84	0,35	5	8	0,48	0,54	6,64	7,45
55.	“	1000	0,84	0,29	5	8	0,38	0,44	5,39	6,14
56.	бетон на зольном гравии	1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34
57.	“	1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,47	6,14	6,95
58.	“	1000	0,84	0,24	5	8	0,30	0,35	4,79	5,84
59.	вермикули- тобетон	800	0,84	0,21	8	13	0,23	0,26	3,97	4,58
60.	“	600	0,84	0,14	8	13	0,16	0,17	2,87	3,21
61.	“	400	0,84	0,09	8	13	0,11	0,13	1,94	2,29
62.	“	300	0,84	0,08	8	13	0,09	0,11	1,52	1,83
Г. Бетоны ячеистые										
63.	газопено- бетон, газопе носиликат	1000	0,84	0,29	10	15	0,41	0,47	6,13	7,09
64.	“	800	0,84	0,21	10	15	0,33.	0,37	4,92	5,63
65.	“	600	0,84	0,14	8	12	0,22	0,26	3,36	3,91
66.	“	400	0,84	0,11	8	12	0,14	0,15	2,19	2,42
67.	“	300	0,84	0,08	8	12	0,11	0,13	1,68	1,95
68.	газопено золобетон	1200	0,84	0,29	15	22	0,52	0,58	8,17	9,46
69.	“	1000	0,84	0,23	15	22	0,44	0,50	6,86	8,01
70.	“	800	0,84	0,17	15	22	0,35	0,41	5,48	6,49
Д. Цементы, известковые и гипсовые растворы										
71.	цементно- песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,60	11,09



72. сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,70	0,87	8,95	10,42
73. известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,70	0,81	8,69	9,76
74. цементно-шлаковый	1400	0,84	0,41	?	4	0,52	0,64	7,00	8,11
75. “	1200	0,84	0,35	2	4	0,47	0,58	6,16	7,15
76. цементно-перлитовый	1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,30	4,64	5,42
77. “	800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51
78. гипсоперлитовый	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84
79. поризованный гипсоперлитовый	500	0,84	0,12	6	10	0,15	0,19	2,44	2,95
80. “	400	0,84	0,09	6	10	0,13	0,15	2,03	2,35
81. плиты из гипса	1200	0,84	0,35	4	6	0,41	0,47	6,01	6,70
82. “	1000	0,84	0,23	4	6	0,29	0,35	4,62	5,28
83. листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66
<b>II. Кирпичная кладка и облицовка природным камнем</b>									
<i>A. Кирпичная кладка из сплошного кирпича</i>									
84. глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,70	0,81	9,20	10,12
85. глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,70
86. глиняного обыкновенного на цементно-	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,70	8,08	9,23
перлитовом растворе									

87. силикатного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,70	2	4	0,76	0,87	9,77	10,90
88. трепельного на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	2	4	0,47	0,52	6,26	6,49
89. “	1000	0,88	0,29	2	4	0,41	0,47	5,35	5,96
90. шлакового на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,70	8,12	8,76
<i>Б. Кирпичная кладка из кирпича керамического и силикатного пустотного</i>									
91. керамического пустотного плотность 1400 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48
92. . керамического пустотного плотность 1300 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56
93.. керамического пустотного плотность 1000 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62
94. силикатного одиннадцати-пустотного на	1500	0,88	0,64	2	4	0,70	0,81	8,59	9,63

цементно-песчаном растворе									
----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

95. силикатного четырнадцати- пустотного на цементно- песчаном рас- творе	1400	0,88	0,52	2	4	0,64	0,76	7,93	9,01
<b>Б. Облицовка природным камнем</b>									
96. гранит, гнейс, базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04
97. мрамор	2800	0,88	3,49	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86
98. известняк	2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,70
99. “	1800	0,88	0,70	2	3	0,93	1,05	10,85	11,77
100. “	1600	0,88	0,58	2	3	0,73	0,81	9,06	9,75
101. “	1400	0,88	0,49	2	3	0,56	0,58	7,42	7,72
102. туф	2000	0,88	0,76	3	5	0,93	1,05	11,68	12,92
103. “	1800	0,88	0,56	3	5	0,70	0,81	9,61	10,76
104. “	1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02
105. “	1400	0,88	0,33	3	5	0,43	0,52	6,64	7,60
106. “	1200	0,88	0,27	3	5	0,35	0,41	5,55	6,25
107. “	1000	0,88	0,21	3	5	0,24	0,29	4,20	4,80
<b>III. Дерево, из- делия из него и других при- родных орга- нических ма- териалов</b>									
108. сосна, ель поперек волокон	500	2,30	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54
109. сосна, ель вдоль волокон	500	2,30	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33
110. дуб поперек волокон	700	2,30	0,10	10	15	0,18	0,23	5,00	5,86
111. дуб вдоль волокон	700	2,30	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83
112. фанера клееная	600	2,30	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73
113. картон об- лицовочный	1000	2,30	0,18	5	10	0,21	0,23	6,20	6,75
114. картон строительный многослойный	650	2,30	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89

115. плиты древесно-волокнистые и древесно-стружечные	1000	2,30	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,70
116. “	800	2,30	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13
117. “	600	2,30	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43
118. “	400	2,30	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26
119. “	200	2,30	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81
120. плиты фибролитовые и арболит на портландцементе	800	2,30	0,16	10	15	0,24	0,30	6,17	7,16
121. “	600	2,30	0,12	10	15	0,18	0,23	4,63	5,43
122. “	400	2,30	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70
123. “	300	2,30	0,07	10	15	0,11	0,14	2,56	2,99
124. плиты камышитовые	300	2,30	0,07	10	15	0,09	0,14	2,31	2,99
125. “	200	2,30	0,06	10	15	0,07	0,09	1,67	1,96
126. плиты торфяные теплоизоляционные	300	2,30	0,064	15	20	0,07	0,08	2,12	2,34
127. “	200	2,30	0,052	15	20	0,06	0,064	1,60	1,71
128. пакля	150	2,30	0,05	7	12	0,06	0,07	1,30	1,47
<b>IV. Теплоизоляционные материалы</b>									
<i>А. Минераловатные и стекловатные</i>									
129. маты минераловатные прошивные и на синтетическом связующем	125	0,84	0,056	2	5	0,064	0,07	0,73	0,82
130. “	75	0,84	0,052	2	5	0,06	0,064	0,55	0,61
131. “	50	0,84	0,048	2	5	0,052	0,06	0,42	0,48
132. плиты мягкие, полужесткие, жесткие минераловатные на синтетическом и битумном связующих	350	0,84	0,091	2	5	0,09	0,11	1,46	1,72
133. “	300	0,84	0,084	2	5	0,087	0,09	1,32	1,44
134. “	200	0,84	0,070	2	5	0,076	0,08	1,01	1,11
135. “	100	0,84	0,056	2	5	0,06	0,07	0,64	0,73

136. “	50	0,84	0,048	2	5	0,052	0,06	0,42	0,48
137. плиты минераловатные повышенной жесткости на органофосфатном связующем	200	0,84	0,064	1	2	0,07	0,076	0,94	1,01
138. плиты полужесткие минераловатные на крахмальном связующем	200	0,84	0,07	2	5	0,076	0,08	1,01	1,11
139. “	125	0,84	0,056	2	5	0,06	0,064	0,70	0,74
140. плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,84	0,056	2	5	0,06	0,064	0,44	0,50
141. маты и полосы из стеклянного волокна прошивные	150	0,84	0,061	2	5	0,064	0,07	0,80	0,90
<i>Б. Полимерные</i>									
142. пенополистирол	150	1,34	0,05	1	5	0,052	0,06	0,89	0,99
143. “	100	1,34	0,041	2	10	0,041	0,052	0,65	0,82
144. пенополистерол	40	1,34	0,038	2	10	0,041	0,05	0,41	0,49
145. пенопласт ПХВ-1 и ПВ-1	125	1,26	0,052	2	10	0,06	0,064	0,86	0,99
146. “	100 и менее	1,26	0,041	2	10	0,05	0,052	0,68	0,80
147. пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,05	0,05	0,67	0,70
148. “	60	1,47	0,035	2	5	0,041	0,041	0,53	0,55
149. “	40	1,47	0,029	2	5	0,04	0,04	0,40	0,42
150. плиты из резольнофенолформальдегидного пенопласта	100	1,68	0,047	5	20	0,052	0,076	0,85	1,18
151. “	75	1,68	0,043	5	20	0,05	0,07	0,72	0,98
152. “	50	1,68	0,041	5	20	0,05	0,064	0,59	0,77
153. “	40	1,68	0,038	5	20	0,041	0,06	0,48	0,66
154. перлитопластбетон	200	1,05	0,041	2	3	0,052	0,06	0,93	1,01
155. “	100	1,05	0,035	2	3	0,041	0,05	0,58	0,66

156. перлнто-фосфогелевые изделия	300	1,05	0,076	3	12	0,08	0,12	1,43	2,02
157. “	200	1,05	0,064	3	12	0,07	0,09	1,10	1,43
<i>В. Засыпки</i>									
158. гравий керамзитовый	800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,23	3,36	3,60
159. “	600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,20	2,62	2,91
160. “	400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,14	1,87	1,99
161. “	300	0,84	0,108	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66
162. “	200	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,30
163. гравий шунгизитовый	800	0,84	0,16	2	4	0,20	0,23	3,28	3,68
164. “	600	0,84	0,13	2	4	0,16	0,20	2,54	2,97
165. “	400	0,84	0,11	2	4	0,13	0,14	1,87	2,03
166. щебень из Доменного шлака шлаковой пемзы и аглопорита	800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,26	3,36	3,83
167. “	600	0,84	0,15	2	3	0,18	0,21	2,70	2,98
168. “	400	0,84	1,122	2	3	0,14	0,16	1,94	2,12
169. щебень и песок из перлита вспученного	600	0,84	0,11	1	2	0,111	0,12	2,07	2,20
170. “	400	0,84	0,076	1	2	0,087	0,09	1,50	1,56
171. “	200	0,84	0,064	1	2	0,076	0,08	0,99	1,04
172. вермикулит вспученный	200	0,84	0,076	1	3	0,09	0,11	1,08	1,24
173. “	100	0,84	0,064	1	3	0,076	0,08	0,70	0,75
174. песок для строительных работ	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91
<i>Г. Пеностекло или газостекло</i>									
175. пеностекло или газостекло	400	0,84	0,11	1	2	0,12	0,14	1,76	1,94
176. “	300	0,84	0,09	1	2	0,11	0,12	1,46	1,56
177. “	200	0,84	0,07	1	2	0,08	0,09	1,01	1,10
<b>V. Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и</b>									

<b>рулонные по- крытия для полов</b>									
<i>А. Асбестоце- ментные</i>									
178. листы ас- бестоцементные плоские	1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12
179. “	1600	0,84	0,23	2	3	0,35	0,41	6,14	6,80
<i>Б. Битумные</i>									
180. битумы нефтяные строительные и кровельные	1400	1,68	0,27	0	0	0,27	0,27	6,80	6,80
181. “	1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69
182. “	1000	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	4,56	4,56
183. асфальто- бетон	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43
184. шделаия из вспученного перлита на би- тумном свя- зующем	400	1,68	0,111	1	2	0,12	0,13	2,45	2,59
185. изделия из вспученного перлита на би- тумном свя- зующем	300	1,68	0,087	1	2	0,09	0,099	1,84	1,95
186. рубероид, пергамин, толь	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53
<i>В. Линолеум</i>									
187. линолеум поливинилхло- ридный много- слойный	1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	8,56
188. “	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	7,52
189. линолеум поливинилхло- ридный па тка- невой подоснове	1800	1,47	0,35	0	0	0,35	0,35	8,22	8,22
190. “	1600	1,47	0,29	0	0	0,29	0,29	7,05	7,05
191. “	1400	1,47	0,23	0	0	0,23	0,23	5,87	5,87
<b>VI. Металлы и стекло</b>									
192. сталь стержневая арматурная	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5
193. чугун	7200	0,482	50	0	0	50	50	112,5	112,5

194. алюминий	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	187,6
195. медь	8500	0,42	407	0	0	407	407	326	326
196. стекло оконное	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79

Примечания: 1. Расчетные значения коэффициента теплоусвоения (при периоде 24 ч) Материал в конструкции вычислены по формуле  $s = 0.27 \sqrt{\lambda \gamma_0 (c_0 + 0.0419w)}$ , где  $\lambda$ ,  $\gamma_0$ ,  $c_0$ ,  $w$  принимают по соответствующим графам настоящего приложения.  
2. Характеристики материалов в сухом состоянии приведены при массовом отношении влаги в материале  $w$ , % равной нулю.

### ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России. - М.: ГУЛ ЦПП, 2004. - 27, [IV] с.
2. СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Госстрой России. - М.: ГУЛ ЦПП 2000. – 56, [IV] с.
3. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия / Госстрой России. - М.: ФГУП ЦПП, 2005 - 44 с.
4. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика / Пер. с нем. А.К. Соколовьева. – М.: Техносфера, 2004. 480 с.: ил.
5. Гусев Н.М., Климов П.П. строительная физика. - М.: Госстройиздат, 1965. - 228 с: ил.
6. Архитектурные конструкции / З.А. Казбек-Казиев, В.В. Беспалов, Ю.А. Дыховичный др.; Под ред. З.А. Казбек-Казиева: Учеб. для вузов по спец. «Архитектура». -М.: Архитектура-С, 2006. -344 с: ил.
7. Шерешевский И.А. Конструирование промышленных зданий и сооружений. Учеб. пособие для студентов строительных специальностей. - М.: Архитектура-С, 2005. -168 с: ил.
8. Дятков СВ., Михеев А.П. Архитектура промышленных зданий. - 3-е изд., перераб. и доп. -М: изд-во АСВ, 1998. - 480 с: ил., таб.
9. Архитектура гражданских и промышленных зданий. В 5 т. Учеб. для вузов. Т. 5 Промышленные здания / Л.Ф. Шубин. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1986.- 335 с: ил.
10. Архитектурное проектирование промышленных предприятия: Учебник для вузов / С.В. Демидов, А.С. Фисенко, В.А. Мыслин и др.; Под ред. С.В. Демидова и А.А. Хрусталева. – М.: Стройиздат, 1984. -392с.: