

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
МИКРОКЛИМАТА ЗДАНИЯ**

Задания и методические указания
к расчетно-графическим работам для студентов
направления подготовки 08.03.01 «Строительство»,
направленность (профиль) «Инженерные системы
жизнеобеспечения в строительстве» (бакалавр)

Казань
2023

УДК 628.8
ББК 38.762
Б88

Б88 Теоретические основы обеспечения микроклимата здания: Задания и методические указания к расчетно-графическим работам для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство», направленность (профиль) «Инженерные системы жизнеобеспечения в строительстве» (бакалавр) / Сост. В.А. Бройда. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2023. – 32 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях даны разъяснения к выполнению расчетно-графических заданий по курсу «Теоретические основы обеспечения микроклимата здания», приведены необходимые расчетные зависимости, даны ссылки на современную нормативную и справочную литературу. В указаниях приведены многовариантные исходные данные для выполнения заданий.

Рецензент
Кандидат технических наук,
доцент кафедры водоснабжения и водоотведения
А.С. Селюгин

УДК 628.8
ББК 38.762

© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2023

© Бройда В.А., 2023

Задание 1

Рассчитать теплопотери через наружные ограждения и теплопотери, связанные с инфильтрацией наружного воздуха для помещений одного этажа здания.

1. План этажа и разрез, размеры конструктивных элементов принимаются по приложению 1, в соответствии с последней цифрой шифра зачетной книжки.

2. Расчет теплопотерь через пол и потолок помещений выполняется в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Сумма двух последних цифр шифра делится на 3	Указания к расчету теплопотерь через пол	Указания к расчету теплопотерь через потолок
Без остатка	В квартирах – пол деревянный $\delta=0,04$ м на лагах на грунте. В остальных помещениях – неутепленный пол на грунте	Теплопотери отсутствуют, так как выше расположен этаж с такой же планировкой
С остатком +1	Пол над неотапливаемым подвалом со световыми проемами в стенах	Над этажом чердачное покрытие из штучных материалов
С остатком +2	Пол над неотапливаемым подвалом без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли	Над этажом бесчердачное покрытие

Район строительства определяется по табл. 2. Если сумма двух последних цифр шифра – четное число – принимается колонка А, если нечетное – колонка Б.

Таблица 2

Последняя цифра шифра	А	Б
1	Пенза	Липецк
2	Орел	Саранск
3	Волгоград	Калуга
4	Пермь	Смоленск
5	Уфа	Курск
6	Саратов	Казань
7	Москва	Екатеринбург
8	Ульяновск	Тула
9	Тверь	Самара
0	Санкт-Петербург	Вологда

3. Ориентация фасада здания принимается по табл. 3.

Таблица 3

Последняя цифра шифра	0	1,2	3	4,5	6	7	8	9
Ориентация фасада	С	Ю	В	З	СЗ	СВ	ЮЗ	ЮВ

Указания к выполнению задания 1

Определение необходимых теплозащитных свойств ограждений выполняется, соответственно, по двум различным подходам: **гигиеническому** и **экономическому**.

Гигиенические требования к теплозащите выражают условия приемлемых для человека температур внутренних поверхностей ограждения в холодный период года. При такой теплозащите теплотери наружных ограждений достаточно высоки, что приводит к существенным затратам тепловой энергии и, следовательно, средств, затрачиваемых в холодный период года на отопление помещений.

Экономические требования к теплозащите были введены, чтобы снизить приблизительно в два раза теплотери через наружные ограждения и затрату средств на отопление.

Порядок расчета

1. Устанавливается расчетная температура наружного воздуха t_H (°С) по данным СП [1]. За расчетную величину принимается температура холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92.

2. Определяются расчетные температуры воздуха в помещениях t_B (°С). В соответствии с требованиями СП [2] (п. 5.1 а), для жилых помещений расчетная внутренняя температура воздуха принимается минимальной из оптимальных норм по данным ГОСТ [3]. Для нежилых помещений жилых зданий (п. 5.1б) расчетная температура принимается минимальной из допустимых значений по ГОСТ [3].

3. Находится средняя температура t_{OT} (°С) и продолжительность отопительного периода z_{OT} (сут.) по данным СП [1]. Причем указанные величины принимаются при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых – по данным периода с температурой наружного воздуха ниже +10 °С, для остальных видов помещений – по данным периода с температурой ниже +8 °С.

4. Рассчитываются градусо-сутки отопительного периода, $ГСОП$ (°С·сут.) по формуле СП [4]:

$$ГСОП = (t_B - t_{OT}) \cdot z_{OT}, \quad (1)$$

в данной формуле t_B – расчетная температура внутреннего воздуха в помещениях здания, принимаемая для расчета ограждающих конструкций группы зданий поз. 1 табл. 3 по минимальным значениям оптимальных температур [3].

5. Базовые значения требуемого сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций, R_0^{mp} ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$), определяемые требованиями энергосбережения (экономические требования к теплозащите), рассчитываются в зависимости от ГСОП и выражаются формулой:

$$R_0^{mp} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2)$$

коэффициенты a и b находятся по данным табл. 3 [4].

Для группы зданий в поз. 1 для окон (графа 6) коэффициенты a и b принимают следующие значения: для ГСОП до $6000 \text{°C} \cdot \text{сут.}$ $a=0,000075$, $b=0,15$; для интервала $6000\text{--}8000 \text{°C} \cdot \text{сут.}$ $a=0,00005$, $b=0,3$; для интервала 8000 и более $\text{°C} \cdot \text{сут.}$ $a=0,000025$, $b=0,5$.

6. Нормируемые значения приведенного сопротивления теплопередаче конструкций, $R_0^{норм}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) следует определять по формуле:

$$R_0^{норм} = R_0^{mp} \cdot m_p, \quad (3)$$

где m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимаемый для стен не менее $m_p=0,63$, для светопрозрачных конструкций не менее $m_p=0,95$, для остальных ограждающих конструкций не менее $m_p=0,8$. Повышение значения m_p для конкретного региона должно обосновываться экономическим расчетом.

Приведенное сопротивление теплопередаче отдельной ограждающей конструкции должно быть не менее $R_0^{норм}$.

$$R_0 \geq R_0^{норм}. \quad (4)$$

Далее следовало бы выбирать конструкции ограждений, которые отвечают этим требованиям. В современных конструкциях ограждений обычно используется эффективный утеплитель, который выпускается определенной толщины. Практически всегда при использовании промышленных материалов теплозащитные свойства выбранной конструкции не отвечают точному равенству в формуле (4), имеют некоторое небольшое превышение.

При выполнении данного задания можно, не уточняя конструкции ограждений, принимать фактические значения приведенных сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций величиной $R_0 = 1,05 \cdot R_0^{норм}$, кроме окон.

Приведенные сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций (окон, балконных дверей, фонарей) определяются по данным сер-

тификационных испытаний. При выполнении настоящего задания можно использовать данные приложения 2, в котором приведены типичные значения R_0 различных конструкций окон.

Нормируемое значение сопротивления теплопередачи входных дверей и ворот, $R_0^{норм}$ должно быть не менее $0,6 R_0^{стен}$ стен здания, определяемое по формуле (5), которая по своей сути выражает санитарно-гигиенические требования к теплозащите:

$$R_0^{норм} = \frac{(t_B - t_H) \cdot n}{\Delta t'' \cdot \alpha_B}, \quad (5)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), принимаемое по табл. 4 [4];

$\Delta t''$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 5 [4];

в расчете сопротивления теплопередачи наружной стены и входной двери величина $n=1$.

При выполнении данного задания для внутренних ограждений можно принимать $R_0 = 0,81 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, которое соответствует стене в полтора кирпича оштукатуренной с двух сторон.

Полы на грунте рассчитываются по зонам. Это связано с тем, что поле температур под поверхностью пола на грунте очень неравномерно. Вблизи наружных стен зимой грунт промерзает и поток тепла и помещений в этой области повышенный. Наоборот, в центральной части здания грунт защищен от воздействия низких температур и тепловой поток здесь значительно меньше. Разбиение пола на грунте на зоны производится для того, чтобы используя простые линейные формулы можно было приближенно рассчитать потери тепла. Правила разбиения поверхности пола на зоны, величины сопротивления теплопередаче зон неутепленных полов на грунте и формулы для расчета сопротивлений утепленных полов и полов на лагах приведены в [5].

Зоны представляют собой условные полосы шириной 2 м и расположенные вдоль наружных стен по всему зданию. Первая зона примыкает к внутренней поверхности наружных стен, вторая зона примыкает к границе первой зоны и также прокладывается вдоль границы первой зоны, третья зона прокладывается аналогично второй, от ее границы внутрь здания. Вся оставшаяся поверхность пола включается в четвертую зону. Для первой зоны, как наиболее неблагоприятной с точки зрения теплозащиты при прописке зоны, углы здания перекрываются зоной дважды, как если бы накладывали двухметровые полосы линолеума внахлест. У остальных зон такое не предусматривается.

У нешироких зданий может не быть четвертой зоны, а иногда и третьей зоны.

Сопротивления отдельных i -зон неутепленного пола принимается: $R_1=2,1 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{Вт}$, $R_2=4,3 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{Вт}$, $R_3=8,6 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{Вт}$, $R_4=14,2 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{Вт}$.

Если в конструкции пола имеется утеплитель, материал с коэффициентом теплопроводности $\lambda \leq 1,2 \text{ Вт}/^\circ\text{C}\cdot\text{м}$, то сопротивление каждой зоны утепленного пола увеличивается:

$$R_{i\text{УП}} = R_i + \delta / \lambda + R_{\text{ВП}}, \quad (6)$$

для пола на лагах (а это утепленный пол, так как дерево хороший утеплитель, так например, коэффициент теплопроводности досок из сосны $\lambda = 0,18 \text{ Вт}/^\circ\text{C}\cdot\text{м}$):

$$R_{\text{УП}} = 1,18 \cdot (R_i + \delta / \lambda), \quad (7)$$

где δ , λ , $R_{\text{ВП}}$ – соответственно, толщина утеплителя, коэффициент теплопроводности материала утеплителя и термическое сопротивление воздушной прослойки, если таковая имеется в конструкции пола. Величины термических сопротивлений замкнутых воздушных прослоек приведены в приложении 3.

7. Коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций K ($\text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$) находятся по формуле:

$$K = 1 / R_0. \quad (8)$$

8. Расчет теплотерь через отдельную ограждающую конструкцию выполняется по формуле [2; 5; 6]:

$$Q = A \cdot K \cdot (t_B - t_H) \cdot n \cdot (1 + \sum \beta), \quad (9)$$

где A – расчетная площадь ограждения, м^2 , находится как произведение линейных размеров, которые определяются по правилам обмеров, которые изложены в [2; 5; 6];

n – коэффициент, учитывающий фактическое уменьшение разности температур $(t_B - t_H)$ для ограждений, защищенных от непосредственного воздействия наружного воздуха. Так:

– для чердачных перекрытий из рулонных материалов, перекрытий над подвалами, сообщающимися с наружным воздухом $n = 0,9$;

– для перекрытий над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах $n = 0,75$;

– для перекрытий над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, расположенных выше уровня земли $n = 0,6$;

– для перекрытий над неотопливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли $n=0,4$;

– в остальных случаях $n=1$;

β – коэффициент, учитывающий добавочные теплотери на ориентацию ограждения по сторонам света, на угловое помещение, на врывание наружного воздуха через открывающийся проем (входную дверь). Значения коэффициентов β приведены в [5; 6]. Коэффициенты добавочных теплотерь β принимаются:

– на ориентацию по сторонам света по румбам (В, СВ, С, СЗ – $\beta=0,1$; Ю, ЮЗ – $\beta=0$; З, ЮВ – $\beta=0,05$);

– на ограждения, примыкающие к наружному углу здания – $\beta=0,05$ для всех северных направлений и $\beta=0,1$ – для всех остальных направлений;

– на врывание холодного воздуха через открытый проем входных дверей:

– $\beta=0,2Н$, $\beta=0,27Н$, $\beta=0,22Н$ – соответственно, для тройных дверей с двумя тамбурами, для двойных дверей с одним тамбуром; для двойных дверей без тамбура,

где $Н$ – высота здания от поверхности земли до верха карниза или верха вытяжной шахты, м.

Линейные размеры ограждений определяются по **правилам обмеров**.

Площади *окон, дверей* измеряются по наименьшему строительному проему.

Площади *потолка и пола* измеряются между осями внутренних стен и внутренней поверхностью наружных стен. Площадь пола на грунте разбивается на зоны, как было указано выше.

Площадь *наружных стен в плане* измеряется между наружным углом и осями внутренних стен. В *разрезе*:

– в *первом этаже* от внешней поверхности пола по грунту; или от поверхности подготовки пола на лагах; или от нижней поверхности перекрытия над неотопливаемым подвалом до чистого пола второго этажа;

– в *средних этажах* – от чистого пола до чистого пола;

– в *верхних этажах* от поверхности чистого пола до верха конструкции чердачного перекрытия или бесчердачного покрытия.

Площади *внутренних ограждений* берутся по внутреннему обмеру. Обычно линейные размеры принимаются с точностью 0,1 м и площади вычисляются с точностью 0,01 м².

Удобная форма таблицы для записи расчета теплотерь дана в [5]. Теплотери через ограждения (например, внутренние) можно не учитывать, если разность температур воздуха для них составляет 3°С и менее.

9. Методика расчета расхода тепла на нагревание инфильтрационного наружного воздуха приведена в [2; 5]. При расчете инфильтрации также используются материалы СП [7].

Основной способ расчета учитывает расход просачивающегося воздуха через неплотности наружных ограждений и затраты тепла на его нагревание.

Рассчитывается условно-постоянное давление (его можно приближенно представить как среднее давление в лестничной клетке здания), Па:

$$p_0 = 0,5 \cdot H \cdot g \cdot (\rho_H - \rho_B) + 0,25 \cdot V_H^2 \cdot \rho_H \cdot (C_H - C_3) \cdot k, \quad (10)$$

где H – высота здания от поверхности земли до верха карниза или вытяжной шахты, м;

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

ρ_H, ρ_B – плотности наружного и внутреннего воздуха, при любой температуре t рассчитываются по формуле:

$$\rho = \frac{353}{(273 + t)}; \quad (11)$$

V_H – расчетная скорость ветра, м/с, находится по данным СП [1];

k – коэффициент, учитывающий изменения скоростного давления ветра по высоте здания, находится по данным СП [7];

C_H, C_3 – аэродинамический коэффициент на наветренных и заветренных сторонах здания, находится по данным СП [7].

Вычисляется разность давления, за счет которого происходит инфильтрация через конкретную ограждающую конструкцию, Па:

$$\Delta p_i = (H - h_i) \cdot g \cdot (\rho_H - \rho_B) + 0,5 \cdot V_H^2 \cdot \rho_H \cdot (C_H - C_3) \cdot k - p_0, \quad (12)$$

где h_i – высота от поверхности земли до рассматриваемой конструкции, м.

Инфильтрация может происходить через неплотности окон, стен и швов в панельных зданиях. Наиболее существенна инфильтрация через неплотности окон, она и будет учитываться при выполнении данного задания. Расход просачивающегося воздуха через окно на i -й высоте (на i -ом этаже), кг/ч:

$$G = 0,21 \cdot A_I \cdot \Delta P^{2/3} / R_{U1}, \quad (13)$$

где A_I – площадь оконного проема м^2 ;

R_{U1} – сопротивление воздухопроницанию заполнений (окон, балконных дверей), $\text{м}^2 \cdot \text{ч/кг}$, можно найти в приложении 4.

Затраты тепла на нагревание инфильтрационного воздуха, Вт:

$$Q = 0,28 \cdot G \cdot c \cdot (t_B - t_H) \cdot \beta, \quad (14)$$

здесь β – учитывает нагрев воздуха в конструкции окна, $\beta = 0,7$ – для окон с тройными переплетами, $\beta = 0,9$ – для окон с отдельными переплетами, $\beta = 1$ – для окон с одинарными и спаренными переплетами.

При использовании современных окон с хорошим уплотнением притворов, расход втекающего инфильтрационного воздуха может оказаться значительно ниже нормативного, и следовательно следует обеспечить нормативный приток воздуха за счет применения периодического проветривания через форточки, а лучше впуская наружный воздух через специальные клапаны, устанавливаемые на оконных рамах или врезаемые в конструкции стен (стенные клапаны для впуска наружного воздуха).

Поэтому применяется проверка вторым способом, исходя из необходимого расхода вентиляционного воздуха.

Второй метод применяется для жилых и общественных зданий, оборудованных только с вытяжной вентиляцией, без подогретого притока.

Вначале определяется вентиляционный воздухообмен. Для жилых помещений его определяют исходя из нормы $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха на 1 м^2 поверхности пола помещения. Тогда вентиляционный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$ составляет:

$$L_{\text{ВЕНТ}} = 3 \cdot F, \quad (15)$$

где F – площадь поверхности пола, м^2 .

Иногда норма вентиляционного воздуха задается в виде кратности воздухообмена, K_p , $1/\text{ч}$. В этом случае вентиляционный расход воздуха определяется по формуле:

$$L_{\text{ВЕНТ}} = K_p \cdot V, \quad (16)$$

где V – объем помещения, м^3 .

Расход тепла на нагревание вентиляционного воздуха, Вт определяется по формуле:

$$Q = 0,28 \cdot L_{\text{ВЕНТ}} \cdot \rho_H \cdot c \cdot (t_B - t_H). \quad (17)$$

Итак, воздухообмен в помещениях жилых зданий определяется: на основе удельного расхода отнесенного к единице площади пола; иногда по нормативной кратности; для отдельных типов помещений (туалет, ванная и др.) величина воздухообмена задается конкретной величиной. Эти нормативные величины приведены в [8]. Рекомендуется расчетный воздухообмен помещений представить в табличной форме.

Таблица 4

№ пом.	Наименование помещения	Объем пом., или площадь пом., м^3 или м^2	Нормативный показатель: (расход $\text{м}^3/\text{ч}$), (кратность, $1/\text{ч}$) или (норма $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола)	Воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$
1	2	3	4	5

В данном задании достаточно учитывать инфильтрацию только через световые проемы. Затраты тепла на инфильтрацию в лестничной клетке,

как правило, меньше чем теплопотери, связанные с врыванием наружного воздуха через наружную входную дверь, которые учитываются добавкой β на врывание холодного воздуха.

Результаты расчета потерь тепла на инфильтрацию заносятся в предпоследнюю графу таблицы теплопотерь и суммируются с теплопотерями через ограждения каждого помещения, результат отражается в последней графе таблицы.

Задание 2

Графоаналитическим способом рассчитать воздухообмен в помещении зрительного зала кинотеатра и построить процессы обработки воздуха для теплого и холодного периодов года. Для холодного периода года предусмотреть использование рециркуляции.

1. Район строительства принимается по данным задания 1.
2. Размеры зрительного зала, число зрительских мест n и расчетные поступления тепла от солнечной радиации Q_{CP} находятся по таблице.

Таблица 5

Последняя цифра шифра	Размеры зала: Дл. x Шир. x Выс., м	Число зрителей, n	Солнечная рад. Q_{CP} , кВт
1	16 x 20 x 8,4	700	14
2	20 x 24 x 10	750	14
3	18 x 24 x 7,2	320	8
4	14 x 22 x 7,2	480	7
5	18 x 21 x 8	620	13
6	12 x 16 x 10	300	7
7	20 x 24 x 9	780	15
8	12 x 20 x 7,2	600	13
9	12 x 18 x 8,8	450	10
0	20 x 16 x 9	500	12

3. Зимние теплопотери Q_{III} рассчитываются по укрупненным измерителям. При четной предпоследней цифре шифра принимается удельная тепловая характеристика $q = 0,26$ Вт/(м³·°С), при нечетной – $q = 0,23$ Вт/(м³·°С).

Указания к выполнению задания 2

Процессы обработки воздуха в теплый и холодный периоды показаны на рис. 1. При выполнении построений на $i-d$ -диаграмме для каждой точки процесса определяются все основные параметры: t (°С), i (кДж/кг), d (г/кг), φ (%).

Теплый период года

В результате построения процесса вентилирования в теплый период года определяется необходимый воздухообмен, и находятся расчетные состояния приточного (П), внутреннего (В) в рабочей зоне и удаляемого (У) из верхней зоны воздуха.

Рассматривается наиболее напряженная ситуация, когда зрительный зал заполнен и поступления тепла и влаги максимальны.

1. Определяются расчетные параметры наружного воздуха (t_H, i_H), в соответствии со СП [2], по параметрам А, по данным СП [1].

2. Расчетные параметры внутреннего воздуха (t_B, φ_B) находятся согласно пункту 5.1 в СП [2] в пределах допустимых норм [3], но не более чем на 3°C выше температуры наружного воздуха по параметру А.

3. По табл. 2.2 [9], или по табл. 6.1 [10] в зависимости от расчетной внутренней температуры воздуха, для зрителей в состоянии покоя, определяются выделения явной теплоты $q_{я}$ (Вт) и влаги w (г/ч) одним зрителем. В сокращенном виде такие данные представлены в табл. 6.

Таблица 6

Количество тепла и влаги, выделяемое людьми в состоянии покоя (по данным [9] с сокращением)

Вредные выделения	Кол-во тепла, Вт/(кДж/ч), выделение влаги, г/ч при температуре воздуха в помещении, °С			
	15	20	25	30
Тепло:	В состоянии покоя			
явное $q_{я}$	120/432	90/324	60/216	40/144
полное $q_{п}$	145/522	120/432	95/342	95/342
Влага w	40	40	50	75

4. Вычисляются избытки явной теплоты (кДж/ч):

$$\Delta Q_{я} = 3600 \cdot Q_{ср} + 3,6 \cdot q_{я} \cdot n. \quad (18)$$

5. Вычисляются влаговыделения (кг/ч) в помещение

$$W = w \cdot n / 1000 \quad (19)$$

и избытки полной теплоты (кДж/ч)

$$\Delta Q_{п} = \Delta Q_{я} + r \cdot W, \quad (20)$$

где r – скрытая теплота парообразования, $r = 2500$ кДж/кг.

6. Рассчитывается угловой коэффициент луча процесса (кДж/кг) по формуле:

$$\varepsilon = \Delta Q_{п} / W. \quad (21)$$

7. Температура удаляемого воздуха определяется по формуле [11]:

$$t_v = t_B + gradt \cdot (H - 1,5), \quad (22)$$

для которой $gradt$ ($^{\circ}\text{C}/\text{м}$) выбирается в зависимости от величины $\Delta Q_{Я} / V$, (лучше принимать средние значения $gradt$), табл. 7;

H – высота расположения центра вытяжных отверстий, м;

V – объем помещения, м^3 .

Таблица 7

Удельные избытки явного тепла, $\Delta Q_{Я} / V$, $\text{кДж}/(\text{ч} \cdot \text{м}^3)$	$gradt$, $^{\circ}\text{C}/\text{м}$
Более 80	0,8–1,5
40 – 80	0,3–1,2
Менее 40	0,0–0,5

Построение процесса на i - d -диаграмме выполняется следующим образом:

- наносится точка состояния наружного воздуха Н, совпадающая с точкой состояния приточного воздуха П;
- через точку П проводится луч процесса ε ;
- на луче процесса, при $t=t_B$, находится положение точки В;
- на луче процесса, при вычисленном значении t_v , находится положение точки У.

ПВУ – процесс нагревания и увлажнения воздуха в помещении за счет теплоизбытков и влаговыделений в помещении.

8. Расчет воздухообмена G ($\text{кг}/\text{ч}$) производится:

- по полным тепловыделениям

$$G_Q = \Delta Q_{\Pi} / (i_v - i_{\Pi}); \quad (23)$$

- по влаговыделениям

$$G_W = 1000 \cdot W / (d_v - d_{\Pi}). \quad (24)$$

Оценивается погрешность в определении расхода воздуха исходя из большего G_{MAX} и меньшего G_{MIN} значений расходов воздуха по формуле:

$$\delta = \frac{G_{MAX} - G_{MIN}}{G_{MAX}} \cdot 100\%. \quad (25)$$

Значения G_{MAX} и G_{MIN} должны различаться не более чем на 15%, тогда за расчетную величину принимается большая из них – G . В случае, если различие больше – допущена грубая ошибка и требуется выполнить построение процесса сначала и рассчитать эти величины заново, чтобы погрешность была в пределах допустимой.

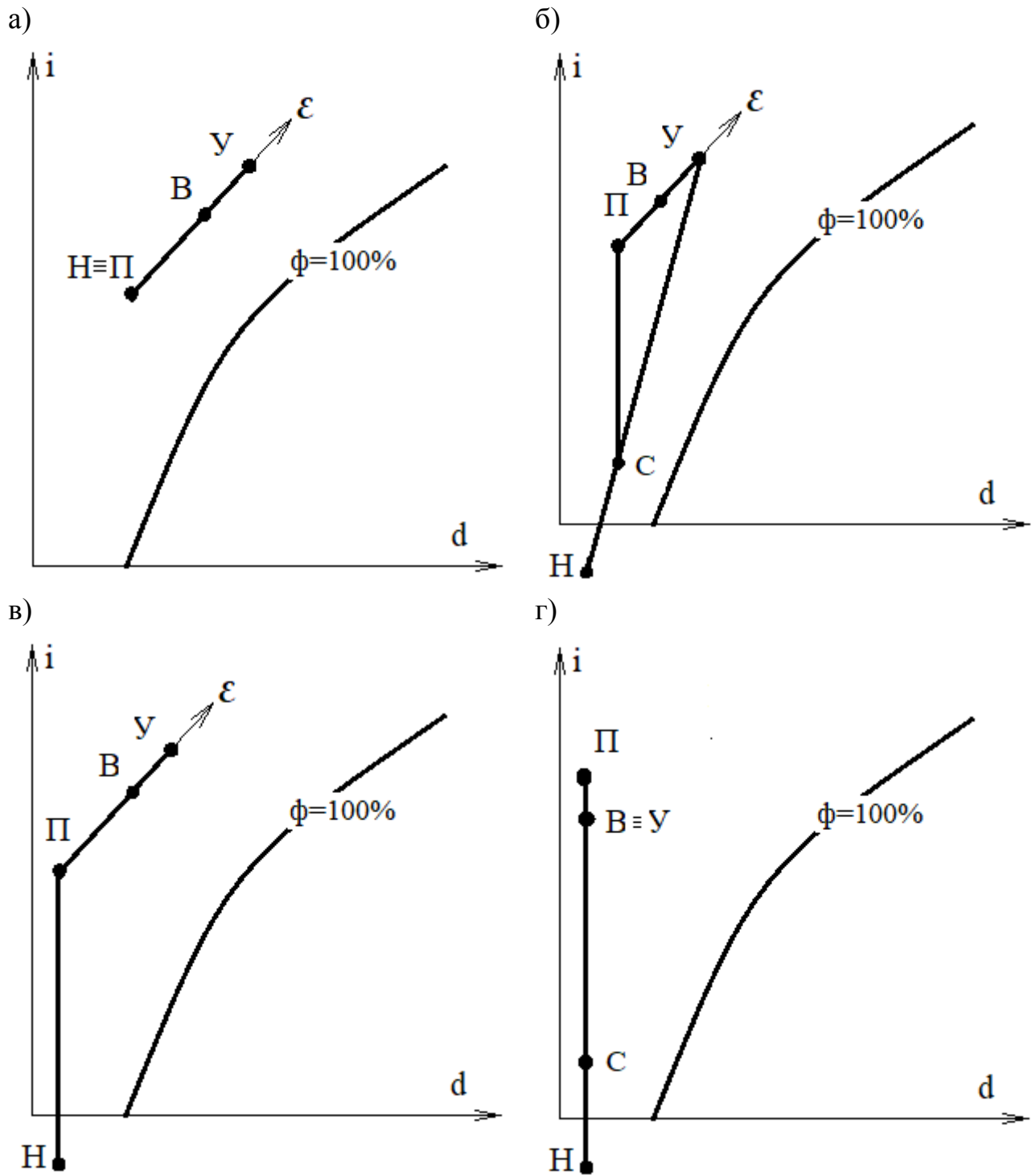


Рис. 1. Изображение процессов обработки воздуха на i - d диаграмме:
 а) теплый период года; б) холодный период года, схема с рециркуляцией;
 в) холодный период года, прямоточная схема; г) холодный период года,
 процессы при почти пустом зале

Рассчитывается воздухообмен по нормам подачи наружного воздуха:

$$G_H = L_1 \cdot n \cdot \rho, \quad (26)$$

где L_1 – норма подачи воздуха на 1 человека, определяемая по приложению В1 СП [2], м³/ч;

ρ – плотность воздуха, в данных расчетах можно принять $\rho = 1,2$ кг/м³.

За расчетную величину воздухообмена принимается большая из двух величин G или G_H .

В том случае, когда $G > G_H$, в холодный период года рационально применить рециркуляцию, которая уменьшает затраты тепловой энергии на нагревание наружного воздуха. Расход рециркуляционного воздуха составит:

$$G_P = G - G_H. \quad (27)$$

Если наибольшей величиной является G_H , тогда она принимается за расчетную величину воздухообмена для теплого и холодного периодов года, $G = G_H$, и в холодный период применяется прямоточная схема обработки воздуха (без рециркуляции).

Холодный период года

В результате построения процесса обработки воздуха в холодный период года находится необходимая мощность воздухонагревателя и характерные точки состояния воздуха. Можно рассмотреть два крайних случая: зал полон – выделения тепла и влаги максимальны; зал практически пуст – отсутствуют тепло-, влаговыделения от зрителей.

Расчет и построение процесса обработки воздуха при заполненном зале

1. Определяются расчетные параметры наружного воздуха (t_H, i_H), в соответствии со СП [2], по параметрам Б, по данным СП [1].

2. Расчетные параметры внутреннего воздуха (t_B, φ_B) находятся по ГОСТ [3] (категория помещения 3б) – в пределах допустимых норм $t_B=12-17$ °С и φ_B не более 60%. Принимается $t_B=14$ °С, конкретное значение φ_B определяется в ходе расчетов и построения процесса.

3. Рассчитываются теплотери помещения (кДж/ч) по укрупненным измерителям:

$$Q_{ТП} = 3,6 \cdot q \cdot V \cdot (t_B - t_H). \quad (28)$$

4. Находится мощность отопления (кДж/ч) при расчетной температуре для отопления $t_{OT}=12$ °С (по СП [2]):

$$Q_{OT} = 3,6 \cdot q \cdot V \cdot (t_{OT} - t_H) . \quad (29)$$

5. По табл. 2.2 [9] или по табл. 6.1 [10], в зависимости от расчетной внутренней температуры, определяются выделения явной теплоты q_Y (Вт) и влаги w (г/ч) одним зрителем или по данным табл. 6.

6. Вычисляются избытки явной теплоты (кДж/ч):

$$\Delta Q_Y = Q_{OT} + 3,6 \cdot q_Y \cdot n - Q_{III} . \quad (30)$$

7. Вычисляются влаговыделения (кг/ч):

$$W = w \cdot n / 1000 \quad (31)$$

и избытки полной теплоты (кДж/ч):

$$\Delta Q_{II} = \Delta Q_Y + r \cdot W . \quad (32)$$

8. Рассчитывается угловой коэффициент луча процесса (кДж/кг) по формуле:

$$\varepsilon = \Delta Q_{II} / W . \quad (33)$$

9. Построение процесса обработки воздуха:

- наносится точка состояния наружного воздуха Н;
- вычисляется влагосодержание удаляемого воздуха:

$$d_Y = d_H + 1000 \cdot W / G_H ; \quad (34)$$

– вычисляется влагосодержание приточного воздуха, равное влагосодержанию смеси наружного и рециркуляционного воздуха:

$$d_{II} = d_C = (d_H \cdot G_H + d_Y \cdot G_P) / G ; \quad (35)$$

– выбирается рабочая разность температур $\Delta t = t_B - t_{II}$, которая при высоте жилых и общественных помещений до 3 м принимается $\Delta t = 2 - 3$ °С; при высоте помещений более 3 м $-\Delta t = 4 - 6$ °С. Большие значения Δt возможны, но они должны проверяться расчетом воздухораспределения. Тогда,

$$t_{II} = t_B - \Delta t ; \quad (36)$$

- по найденным значениям t_{II} и d_{II} находится положение точки П;
- через точку П проводится луч процесса холодного периода;
- на луче процесса, при температуре t_B , находится положение точки В;
- на луче процесса, при влагосодержании d_Y , находится положение точки У;
- на прямой, проведенной через точки Н и У, находится точка смешивания С, имеющая вычисленное влагосодержание d_C ;

- из точки С проводится вертикальная линия $d_C = const$ до точки П.
- НС-УС – рециркуляция;
- СП – нагревание воздуха в воздухонагревателе;
- ПВУ – процесс нагревания и увлажнения воздуха в помещении.

10. Определяется мощность воздухонагревателя (кДж/ч) при заполненном зале:

$$Q = G \cdot (i_{\Pi} - i_C). \quad (37)$$

Для прямоточной схемы обработки воздуха (если получится такая схема обработки) мощность воздухонагревателя определяется формулой:

$$Q = G \cdot (i_{\Pi} - i_H). \quad (38)$$

Мощности воздухонагревателей можно выразить в кВт, разделив величину, определенную в кДж/ч на 3600.

Расчет и построение процесса обработки воздуха при почти пустом зрительном зале

Рассматривается противоположная по загрузке ситуация, когда в зале находятся всего несколько зрителей, тепло- и влагопоступления от зрителей практически отсутствует, но сеанс проводится.

Пункты с 1-го по 4-й предыдущего расчета сохраняются, число зрителей принимается в предельном случае $n=0$.

1. Построение процесса на i - d -диаграмме выполняется следующим образом:

- наносится точка состояния наружного воздуха Н;
- через точку Н проводится линия $d_{H=const}$ и на этой линии при $t=t_B$ находятся положения совпадающих, в данном случае, точек состояния внутреннего (В) и удаляемого (У) воздуха;
- на той же линии при вычисленном значении i_{Π} находится положение точки приточного воздуха (П):

$$i_{\Pi} = i_B + (Q_{\Pi\Pi} - Q_{OT}) / G; \quad (39)$$

– на той же линии при вычисленном значении i_C , находится положение точки С смешивания наружного и рециркуляционного воздуха:

$$i_C = (i_H \cdot G_H + i_B \cdot G_P) / G. \quad (40)$$

2. Находится максимальная мощность воздухонагревателя (кДж/ч):

$$Q_{MAX} = G \cdot (i_{II} - i_C), \quad (41)$$

а при отсутствии рециркуляции:

$$Q_{MAX} = G \cdot (i_{II} - i_H). \quad (42)$$

Замечания

1. Иногда встречается ситуация, когда при построении зимнего режима обработки воздуха направление луча процесса в помещении ПВУ более отвесное, чем направление линии смешивания НСУ. Это говорит о том, что велики поступления явной теплоты – избыточна мощность системы отопления при значительных тепловыделениях от зрителей. Нужно уменьшить величину теплоступлений от системы отопления в расчетном режиме (применяется автоматическое регулирование).

2. При низкой температуре наружного воздуха, $t_H < -30$ °С, точка Н не располагается на рабочем поле i - d -диаграммы. В этом случае для изображения процессов обработки достаточно провести линию $d_H = const$. Величину d_H можно вычислить по формуле:

$$d_H = \frac{i_H - 1,005 \cdot t_H}{2500 + 1,8 \cdot t_H} \cdot 1000. \quad (43)$$

3. В зимнем режиме вентилирования, как правило, устанавливается очень низкая влажность внутреннего воздуха ($\varphi_B = 5 - 15\%$), что, в общем-то, не противоречит требованиям допустимых норм [3]. Улучшить такую ситуацию можно, применяя увлажнители воздуха.

Требования к оформлению расчетно-графической работы

Работа оформляется в виде пояснительной записки формата А4.

При использовании какой-либо формулы вначале дается объяснение, входящих в нее величин, а затем приводятся результаты вычислений, если нужно, то в виде таблиц. К решению задания 1 должен прилагаться план этажа в масштабе 1:100, с нумерацией помещений, строительными осями, необходимыми размерами и указанием ориентации фасада по сторонам света, а также – элемент разреза здания, со строительными размерами и отметками.

Графическая часть выполняется с помощью системы автоматизированного проектирования REVIT.

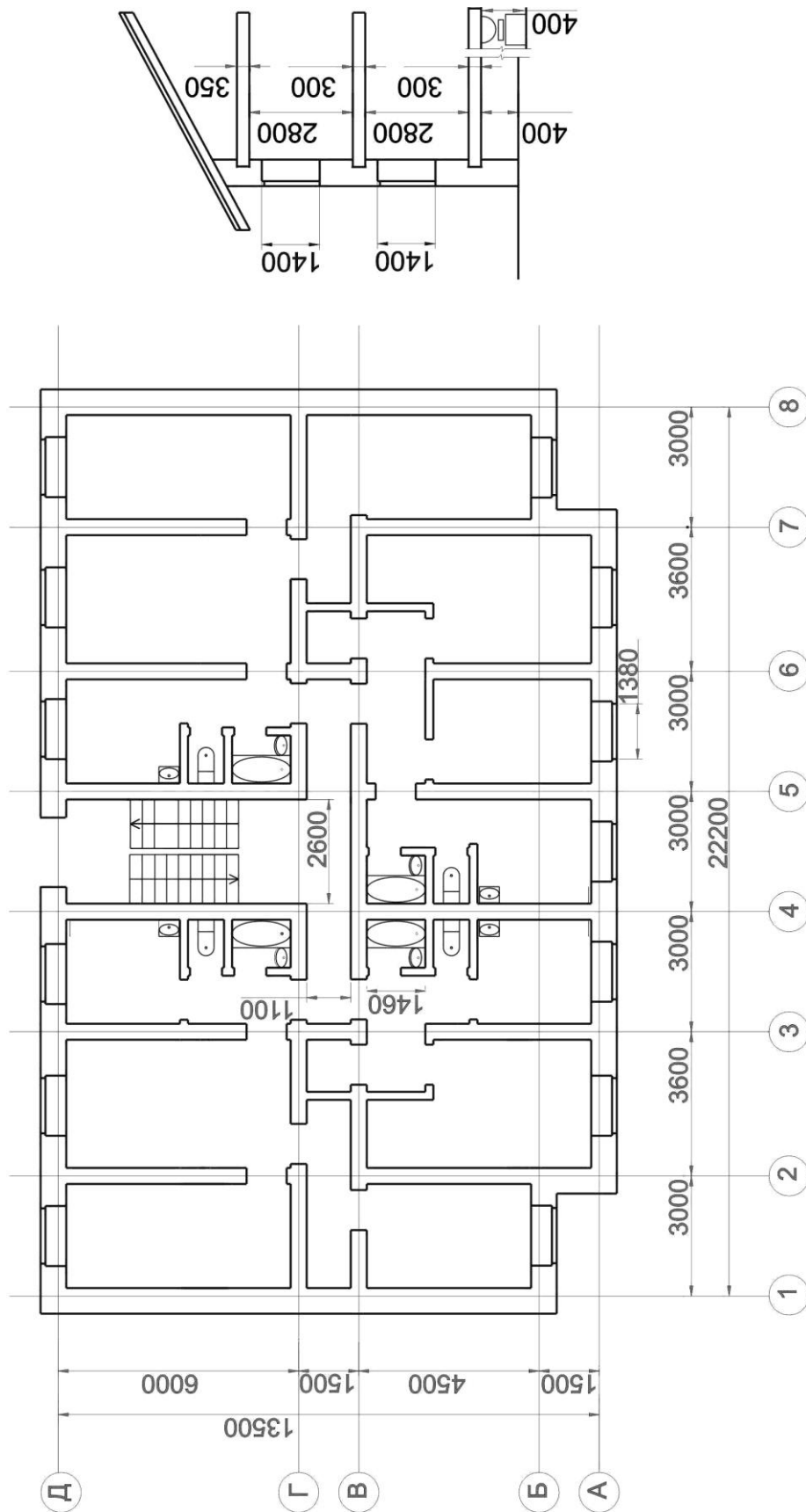
К решению задания 2 должна прилагаться i - d -диаграмма с изображением расчетных процессов вентилирования для теплого и холодного периодов.

ЛИТЕРАТУРА

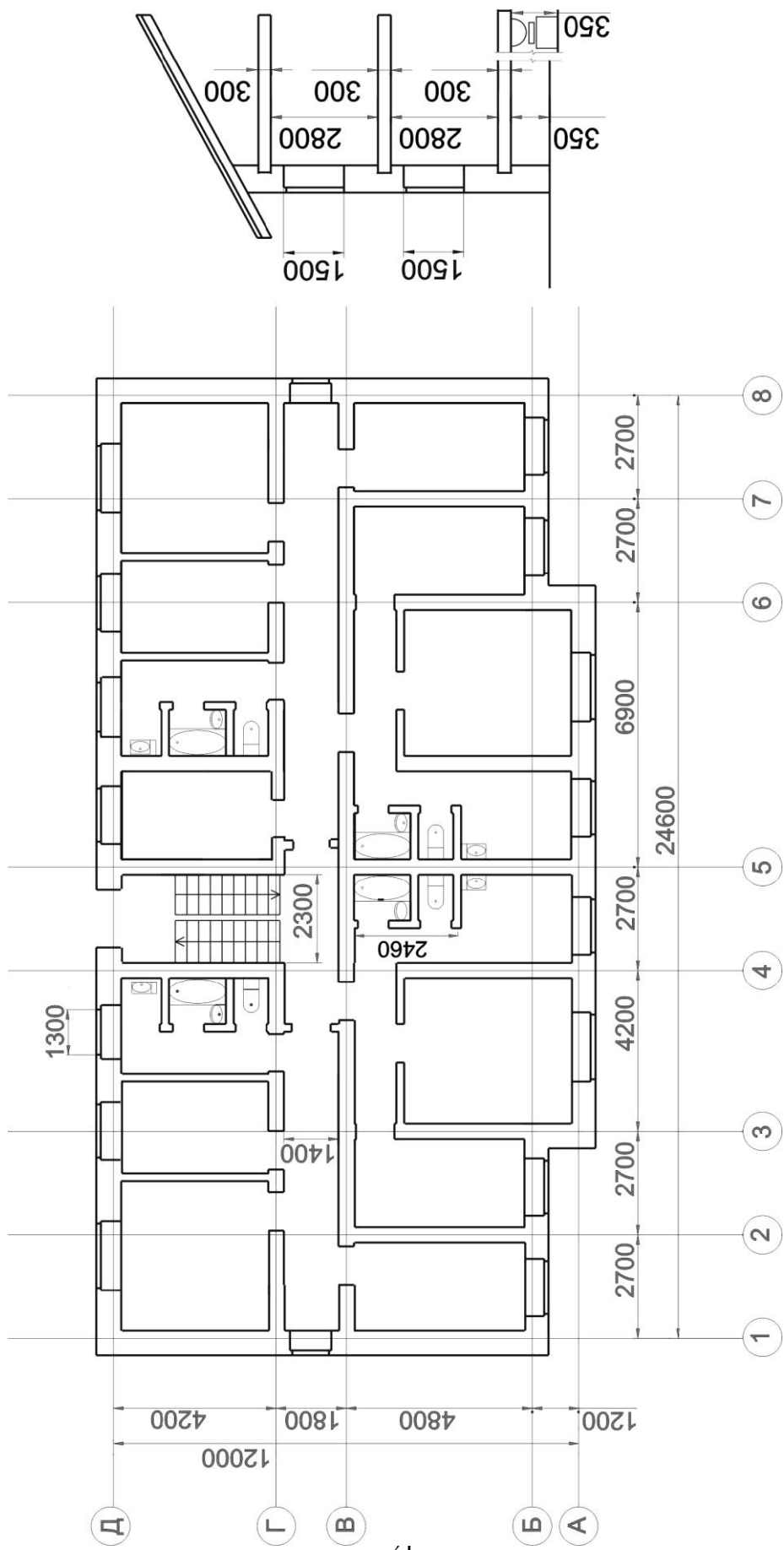
1. СП 131.13330.2020. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*. Строительная климатология / Минстрой России. – М., 2020. – 146 с.
2. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003 / Минстрой России. – М., 2021. – 107 с.
3. ГОСТ 30494-11. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2013. – 11 с.
4. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003/ Минрегион России. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 88 с.
5. Сканави А.Н., Махов Л.М. Отопление: учебник для вузов. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 576 с.
6. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 1. Отопление. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
7. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07 – 85* / Минстрой России. – М.: Стандартинформ, 2018. – 73 с.
8. СП 54.133320.2022. Свод правил. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 / Минстрой России. – М., 2022. – 36 с.
9. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
10. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция: учебник для вузов. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 624 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

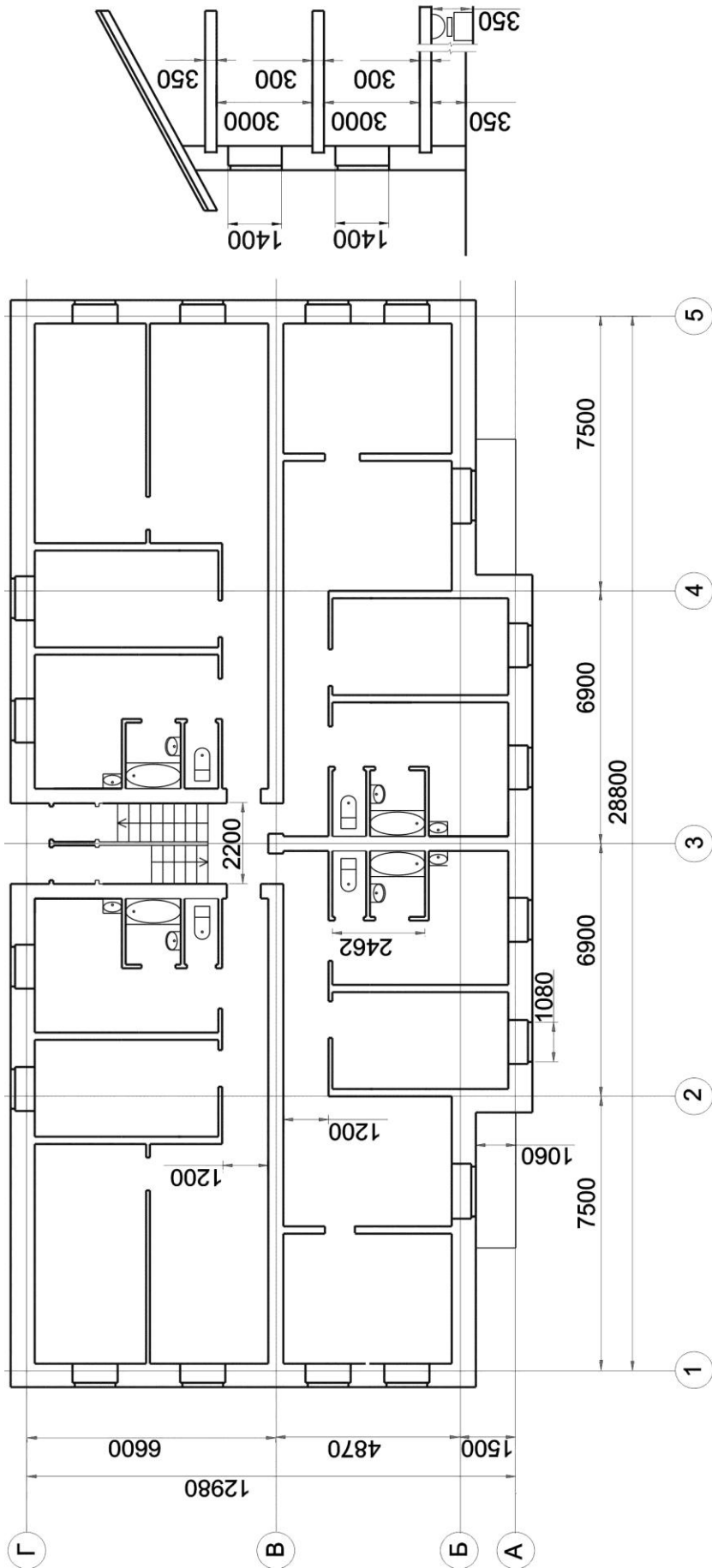
Приложение 1



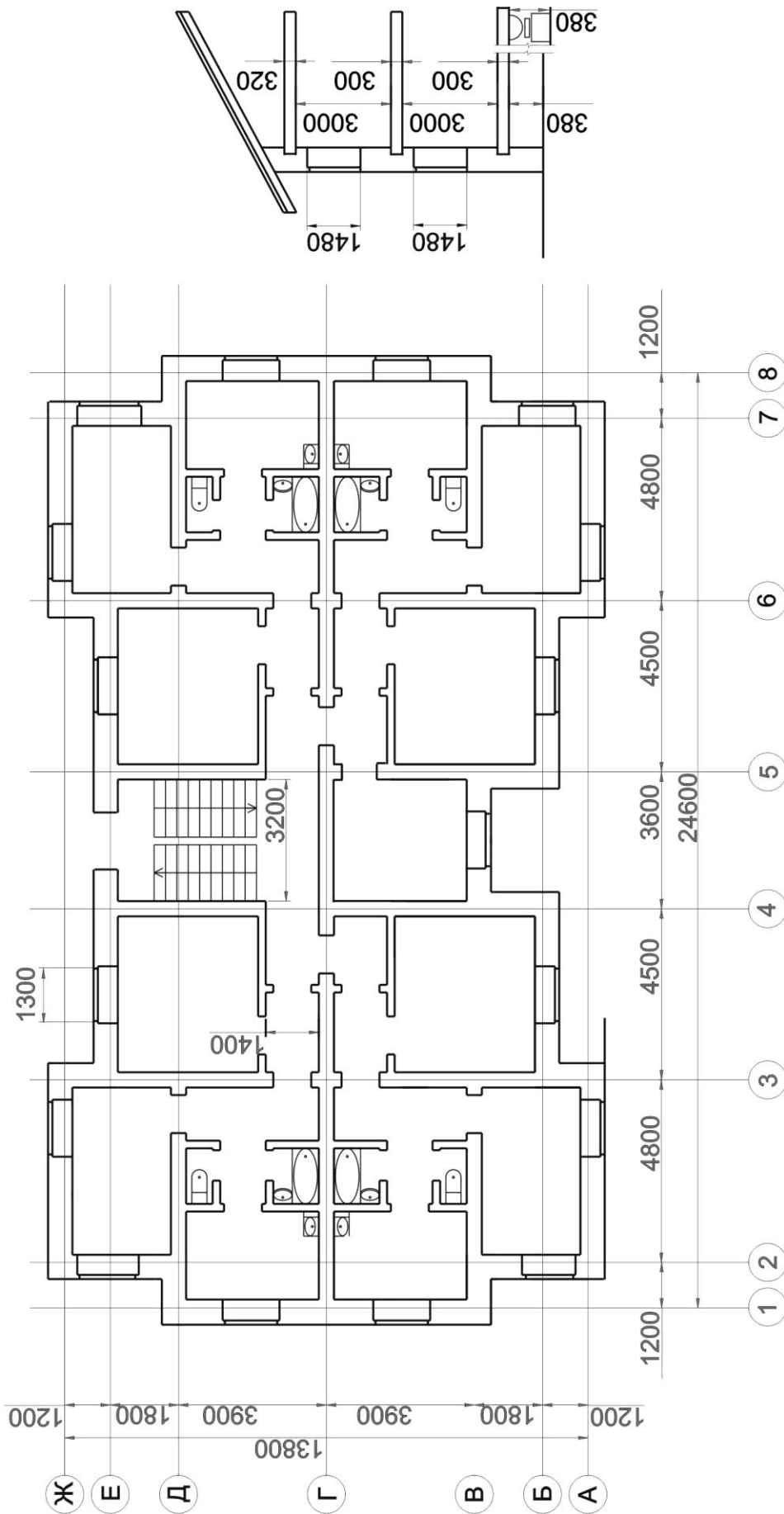
Последняя цифра шифра 1



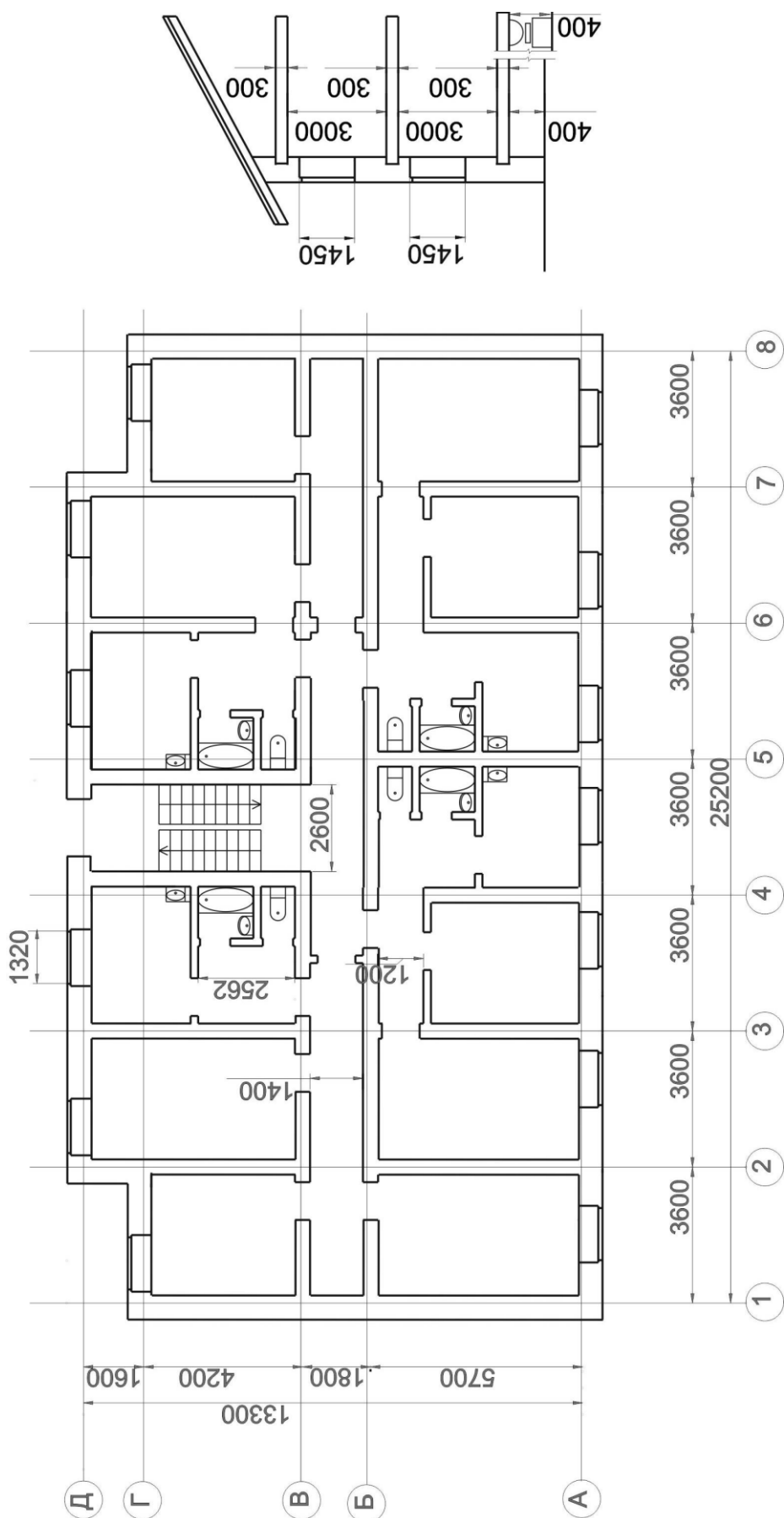
Последняя цифра шифра 2



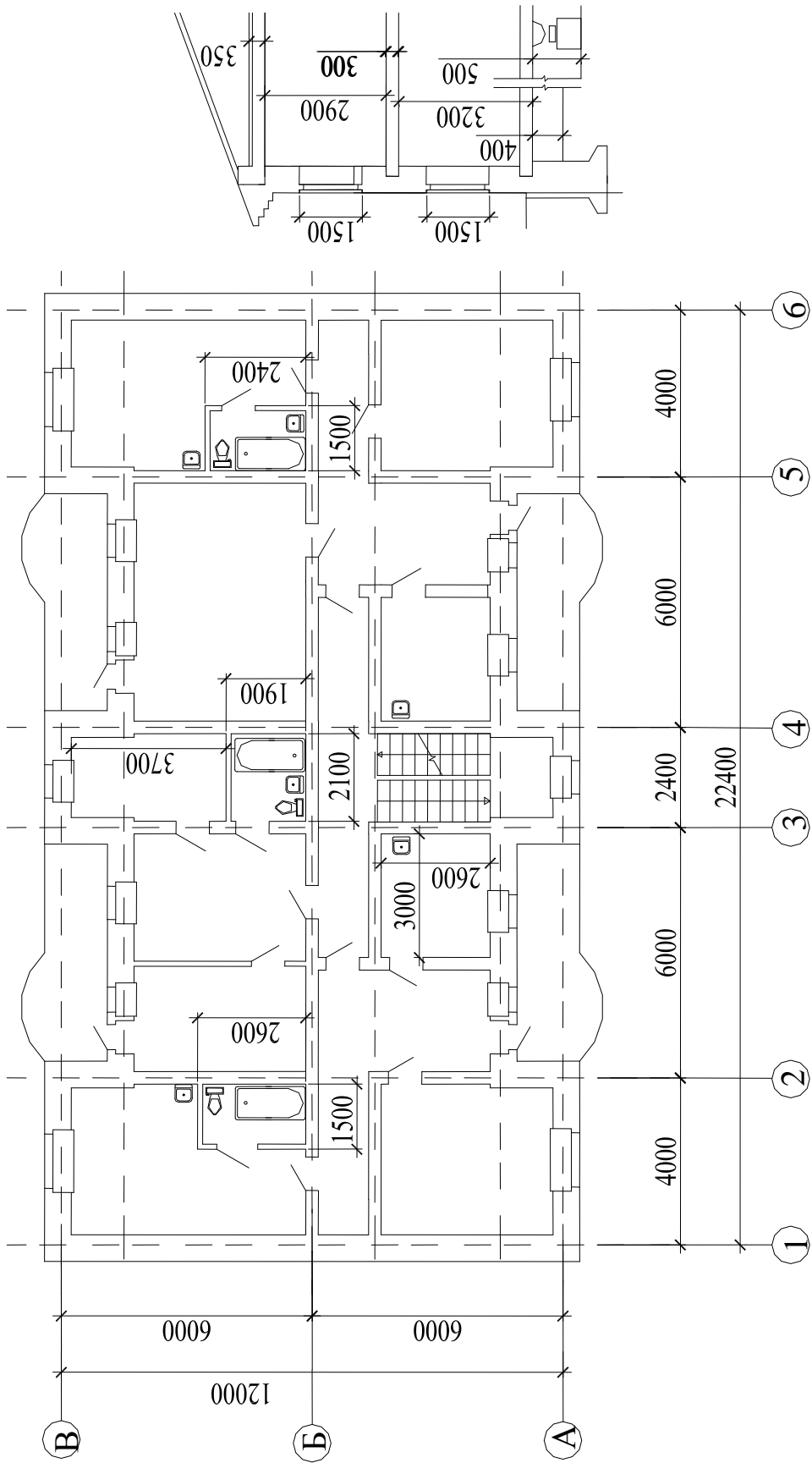
Последняя цифра шифра 3



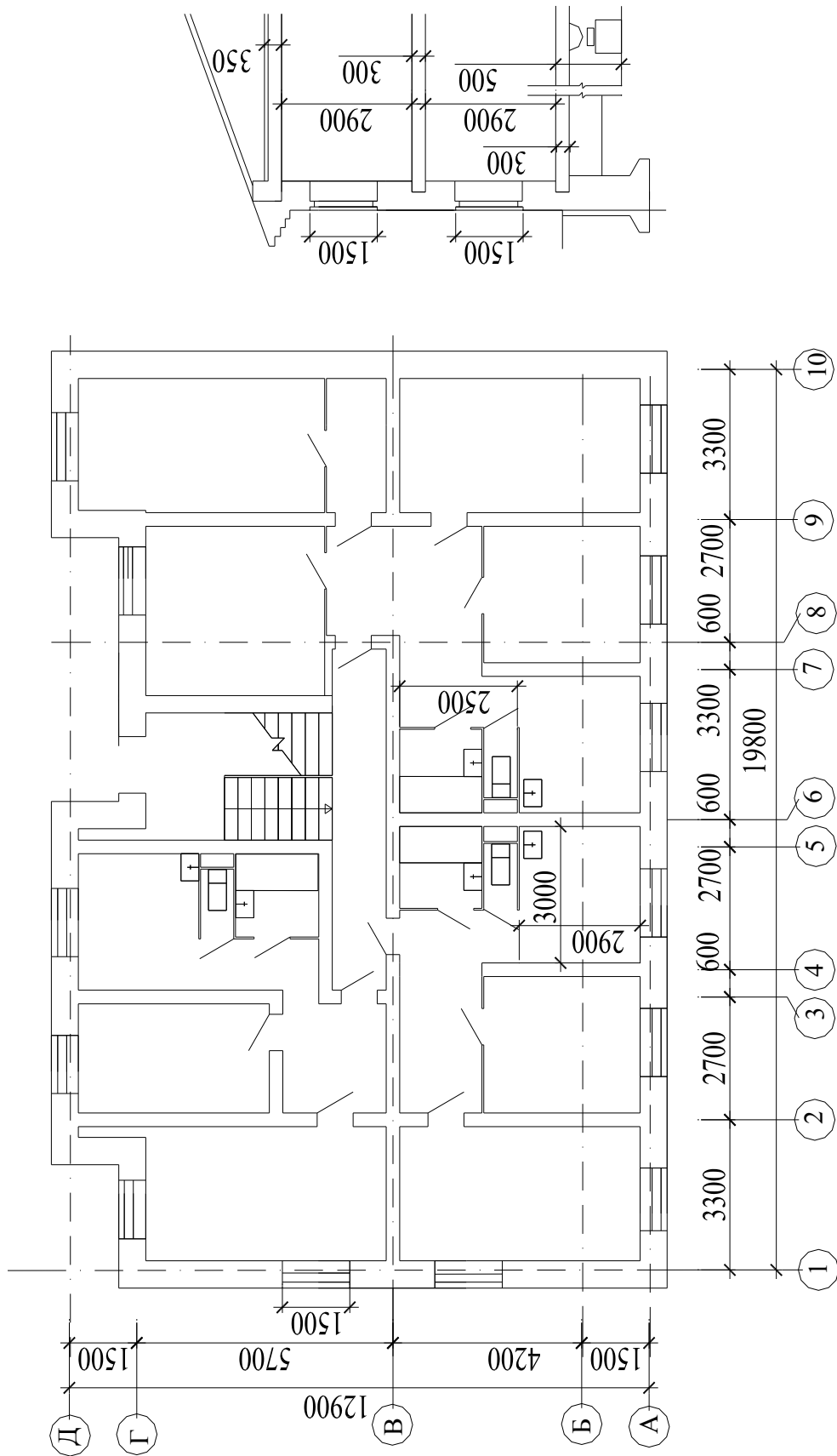
Последняя цифра шифра 4



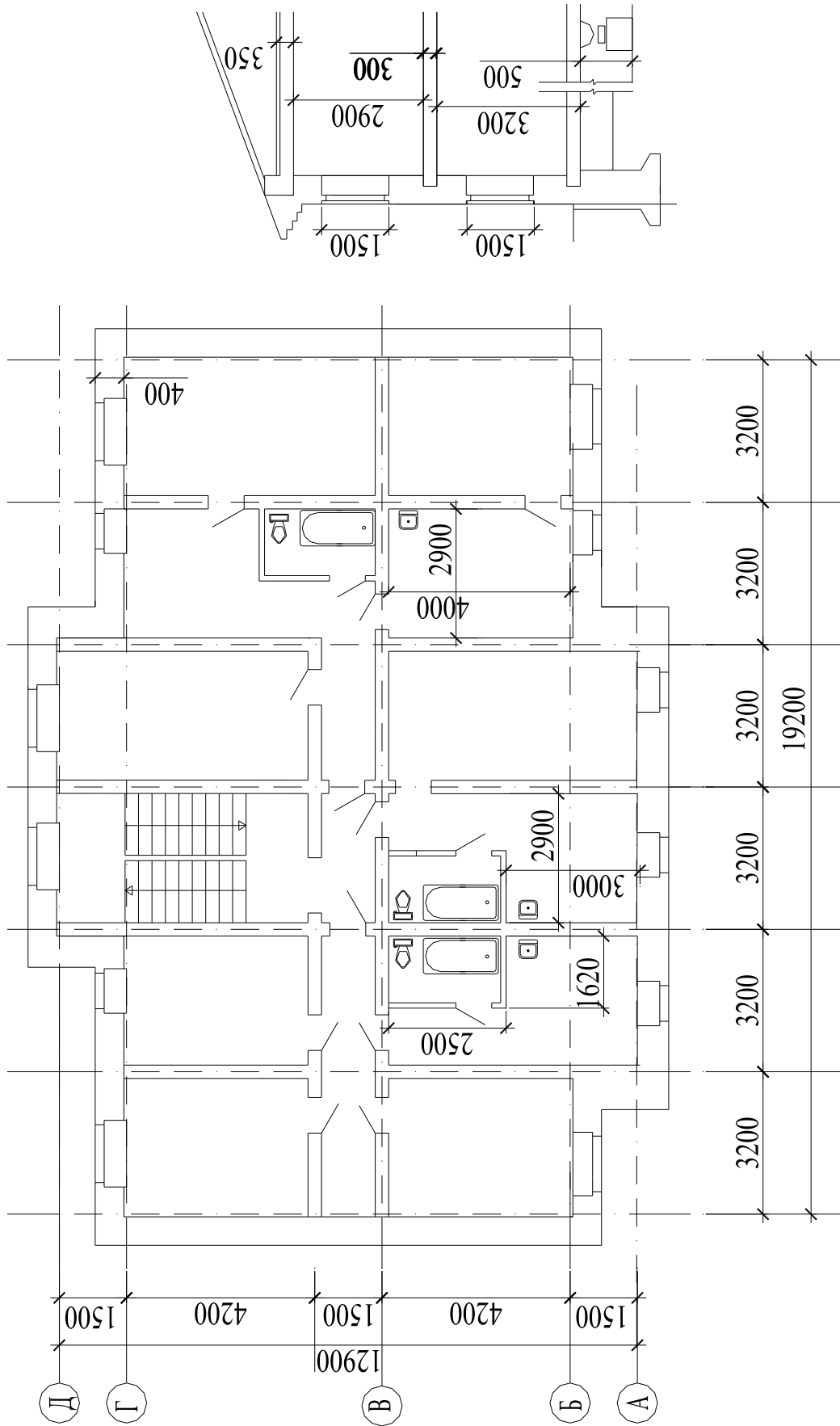
Последняя цифра шифра 5



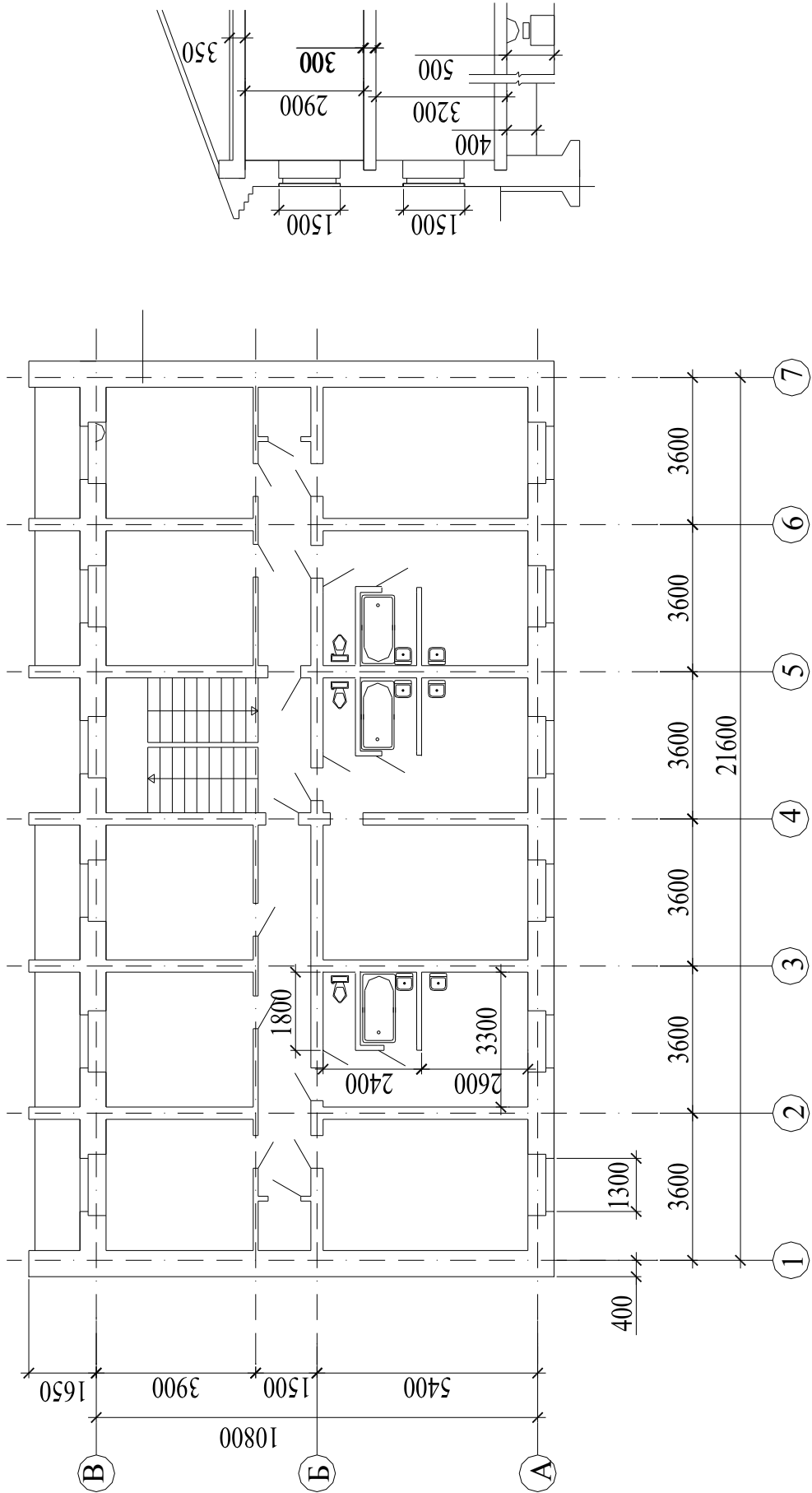
Последняя цифра шифра 6



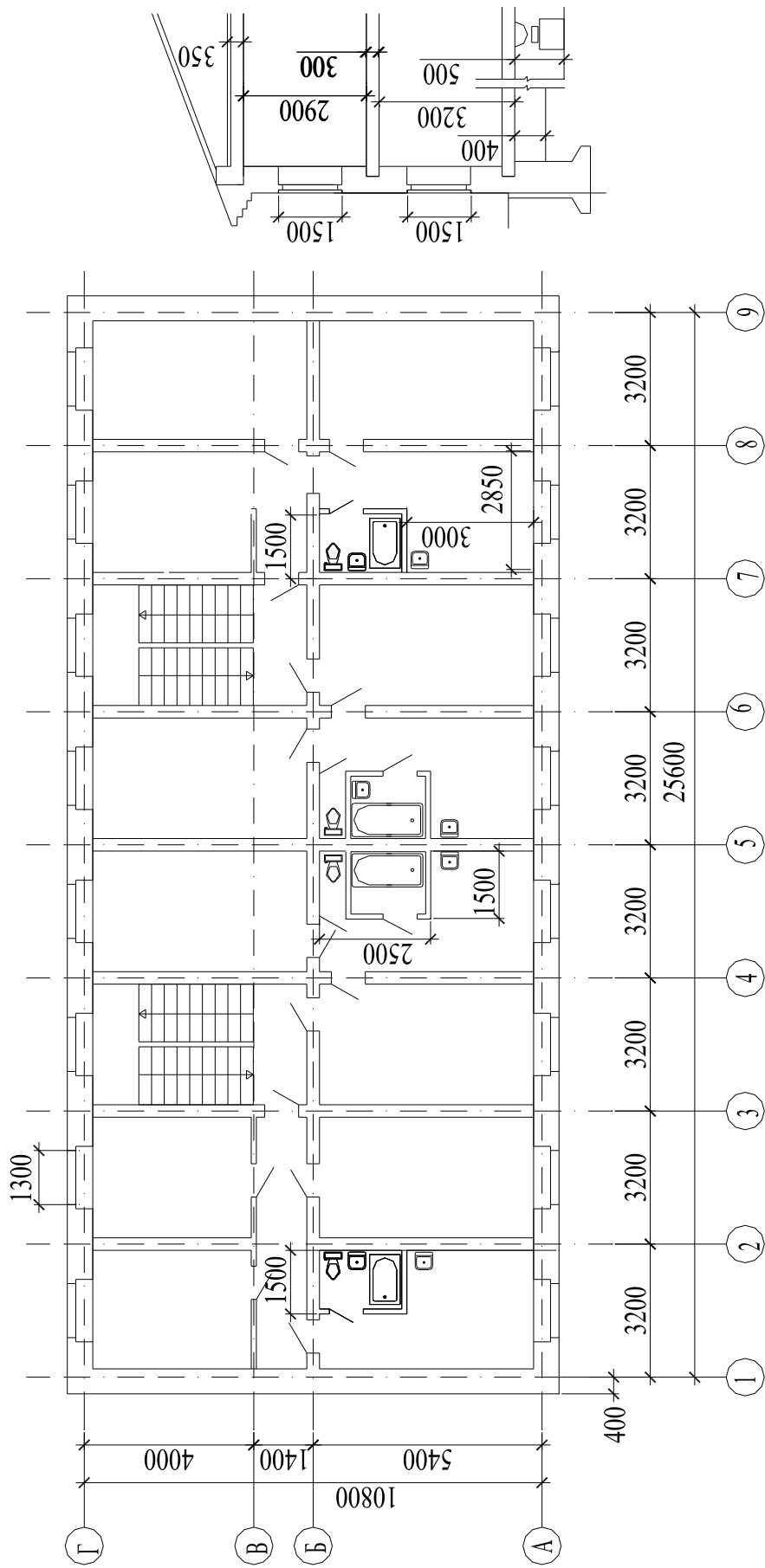
Последняя цифра шифра 7



Последняя цифра шифра 8



Последняя цифра шифра 9



Последняя цифра шифра 0

Приведенное сопротивление теплопередаче окон и балконных дверей

Заполнение светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
1	2
1. Одинарное остекление в деревянных или пластмассовых переплетах	0,18
2. Одинарное остекление в металлических переплетах	0,14
3. Двойное остекление в деревянных или пластмассовых спаренных переплетах	0,39
4. Двойное остекление в деревянных или пластмассовых отдельных переплетах	0,42
5. Двойное остекление в металлических отдельных переплетах окон	0,34
6. Тройное остекление в деревянных или пластмассовых отдельных переплетах	0,55
7. Тройное остекление в металлических отдельных переплетах	0,46
<ul style="list-style-type: none"> • Двухслойные стеклопакеты в деревянных или пластмассовых переплетах: <ul style="list-style-type: none"> – из обычного стекла – с твердым селективным покрытием внутреннего стекла – то же, с заполнением межстекольного прост-ва аргоном 	<ul style="list-style-type: none"> 0,36 0,48 0,56
<ul style="list-style-type: none"> • Двухслойные стеклопакеты в металлических переплетах: <ul style="list-style-type: none"> – из обычного стекла – с твердым селективным покрытием внутреннего стекла – то же, с заполнением межстекольного прост-ва аргоном 	<ul style="list-style-type: none"> 0,30 0,38 0,45
<ul style="list-style-type: none"> • Двухслойные стеклопакеты и одинарное остекление: <ul style="list-style-type: none"> – в отдельных деревянных или пластмассовых переплетах окон 	0,53
<ul style="list-style-type: none"> • Трехслойные стеклопакеты в деревянных или пластмассовых переплетах: <ul style="list-style-type: none"> – из обычного стекла – с мягким селективным покрытием внутреннего стекла – то же, с заполнением межстекольного прост-ва аргоном 	<ul style="list-style-type: none"> 0,52 0,72 0,86

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $R_{ВП}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$			
	горизонтальной при потоке тепла снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке тепла сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положитель.	отрицательной	положитель.	отрицательной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,18	0,24
0,2–0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Сопротивление воздухопроницанию заполнений (окон, балконных дверей)

Заполнение светового проема	Число уплотненных притворов	Сопротивление воздухопроницанию R_n , $m^2 \cdot ч / кг$ (при $\Delta P = 10$ Па), заполнение световых проемов с деревянными переплетами с уплотнением прокладками		
		из пенополиуретана	губчатой резины	полушерстяного шнура
1. Одинарное остекление или двойное в спаренных переплетах	1	0,26	0,16	0,12
2. Двойное остекление в отдельных переплетах	1	0,29	0,18	0,13
	2	0,38	0,26	0,18
3. Тройное остекление в раздельно-спаренных переплетах	1	0,30	0,18	0,14
	2	0,44	0,26	0,20
	3	0,56	0,37	0,27

Примечания

1. Сопротивление воздухопроницанию заполнения световых проемов с металлическими переплетами, а также балконных дверей следует принимать с коэффициентом 0,8.

2. Сопротивление воздухопроницанию окон без открывающихся створок следует принимать $1,0 m^2 \cdot ч / кг$.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЗДАНИЯ

Задания и методические указания к расчетно-графическим работам
для студентов направления подготовки 08.03.01 «Строительство»,
направленность (профиль) «Инженерные системы жизнеобеспечения
в строительстве» (бакалавр)

Составитель Бройда В.А.