Объемно-планировочные показатели

Отапливаемый объем здания $V_{от}$ = 307,55 м^3,
Сумма площадей этажей здания $A_{от}$ = 87,87 м^2;
Расчетная площадь общественных помещений $A_р$ = 71,93 м^2;
Высота здания от пола первого этажа до обреза вытяжной шахты H = 4,5 м;
Общая площадь наружных ограждающих конструкций $A_н^{сум}$ = 363,88 м^2;
Площадь фасадов здания $A_{фас}$ = 172,33 м^2;
Площадь кровли $A_{кр}$ = 95,78 м^2.

Площадь надземного остекления по сторонам света

(Таблица 1)

Сторона света	Площадь, м^2
Ю	7,15
С	4,5
В	7,5
З	2,7
Всего	21,85

Площадь всего остекления $A_{ок}$ = 21,85 м^2;
Площадь входных дверей $A_{дв}$ = 8,55 м^2;
Коэффициент компактности здания, м$^{-1}$:

$$K_{комп} = A_н^{сум} / V_{от} = 363,88 / 307,55 = 1,18$$

Коэффициент остеклённости здания:

$$f = A_{ок} / A_{фас} = 21,85 / 172,33 = 0,127.$$

Климатические параметры

При теплотехнических расчетах климатические параметры района строительства принимаются по СП 13113330.2012 для п. Красносельское и имеют следующие значения:

Средняя температура наиболее холодной пятидневки $t_н$ = – 24 °С;
Средняя температура отопительного периода $t_{от}$ = – 1,3 °С;
Продолжительность отопительного периода $z_{от}$ = 213 сут.

Основными параметрами микроклимата являются температура и относительная влажность внутреннего воздуха $t_в$ = 18 °С, $\varphi_в$ = 50%.

Зона влажности района строительства – 1 (влажная).

Условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б.

На основе климатических характеристик района строительства и микроклимата помещения рассчитывается величина градусо-суток отопительного периода:

$$ГСОП = (t_в – t_{от}) \cdot z_{от} = (18 – (– 1,3)) \cdot 213 = 4111\ ^\circ С \cdot сут/год;$$

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

Нормируемое сопротивление теплопередаче для наружной конструкции:

$$R_{тр} = a \cdot ГСОП + b,$$

где *a, b* – коэффициенты, значения которых нужно принимать по данным таблицы для соот- ветствующих групп зданий;

1. Наружная стена

Нормируемое сопротивление теплопередаче для наружной стены:

$$R_{тр,ст} = 0{,}0003 \cdot 4111 + 1{,}2 = 2{,}433\ м^2 \cdot {}^oC/Вт.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче стены, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$:

$$R_{0,ст} = \frac{1}{\alpha_в} + \Sigma R_i + \frac{1}{\alpha_н},$$

где $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$;

$\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$;

R_i – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$.

Характеристики материалов, входящих в состав ограждения:

Слой 1. Сэндвич-панель МП ТСП-Z-100-1000-Г-Г-МВ: $\delta = 0{,}1$ м,

Приведённое сопротивление теплопередаче стены с учетом коэффициента теплотехнической однородности:

$$R^r_{ст} = 2{,}86\ м^2 \cdot {}^oC/Вт.$$

Эффективность ограждения

$$R_{req} \leq R_0$$

$$2{,}86 – 2{,}433 = 0{,}43\ м^2\ {}^oC/\ Вт$$

2. Покрытие (кровля)

Нормируемое сопротивление теплопередаче для кровли:

$$R_{тр,кр} = 0{,}0004 \cdot 4111 + 1{,}6 = 3{,}244\ м^2 \cdot {}^oC/Вт.$$

Приведённое сопротивление теплопередаче кровли, $м^2 \cdot {}^oC/Вт$:

$$R_{0,кр} = \frac{1}{\alpha_в} + \Sigma R_i + \frac{1}{\alpha_н},$$

где $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$;

$\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $Вт/(м^2 \cdot {}^oC)$;

R_i – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, м^2·°С/Вт.

Характеристики материалов, входящих в состав ограждения:
Слой 1. Проф. лист Н-75х750-0,8: δ = 0,075 м, λ = 58,0 Вт/(м·˚С);
Слой 2. Пароизоляция ТехноНИКОЛЬ: δ = 0,001 м, λ = 0,47 Вт/(м·˚С);
Слой 3. Плита ТехноНИКОЛЬ ТЕХНОРУФ Н30: δ = 0,1 м, λ = 0,042 Вт/(м·°С);
Слой 4. Плита ТехноНИКОЛЬ ТЕХНОРУФ В60: δ = 0,05 м, λ = 0,042 Вт/(м·˚С);
Слой 5. Полимерная мембрана LOGICROOF V-RP: δ = 0,002 м, λ = 0,47 Вт/(м·˚С).

$R_{0,кр}$ = 1/8,7 + 0,075/58 + 0,001/0,47 + 0,1/0,042 + 0,05/0,042 + 0,002/0,47 +1/23 = 3,738 м^2·°С/Вт.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены с учетом теплотехнической однородности, (м^2·°С)/Вт:

$$R_{0,перек} = R^{ус}_{0,перек} \cdot r ,$$

где

r - коэффициент теплотехнической однородности для перекрытий верхнего этажа, принят r=0.95

$$R_{0,перек}=0,95\cdot 3,738=3,55$$

Эффективность ограждения

$$R_{req} \leq R_0$$

3,55–3,244= 0,306 м^2 °С/ Вт

3. Полы по грунту

Слой 1. Стяжка из цем.песч, раствора М150 δ = 0,06 м, λ = 0,76 Вт/(м·˚С);
Слой 2. ТЕХНОНИКОЛЬ XPS 30-250 СТАНДАРТ: δ = 0,05 м, λ = 0,031 Вт/(м·˚С);
Слой 3. Ж/б плита : δ = 0,3 м, λ = 1,92 Вт/(м·°С);
Слой 4. Бетонная подготовка : δ = 0,1 м, λ = 1,74 Вт/(м·˚С);

Для утепленных полов на грунте : $R_{о\ пол}=R_{зон}+ δ/ λ$

Для первой зоны: $R_{1\ зона}$ = 2,1+ 0,06/0,76+0,05/0,031+0,3/1,92+0,1/1,74=4,0 м^2·°С/Вт.
Для второй зоны: $R_{2\ зона}$ = 4,3+ 0,06/0,76+0,05/0,031+0,3/1,92+0,1/1,74=6,2 м^2·°С/Вт.

Приведённое сопротивление теплопередаче пола по грунту, м^2·°С/Вт:

$$R_{0,пол} = \frac{A}{\Sigma A_i/R_{o,i}}$$

где A – общая площадь конструкции, равная сумме площадей отдельных участков, м^2;
A_i, $R_{o,i}$ – площадь *i*-того участка характерной части ограждающей конструкции, м^2 и его приведённое сопротивление теплопередаче, м^2·°С/Вт.

$$R_{0,пол} = 95,77/(66,6/4,0 + 29,17/6,2) = 4,5 м^2·°С/Вт.$$

4. Окна

Нормируемое сопротивление теплопередаче для окна:

$$R_{тр,ок} = 0{,}00005 \cdot 4111 + 0{,}2 = 0{,}406 \text{ м}^2\cdot{}^\circ\text{С/Вт}.$$

В проекте предусмотрены окна по ГОСТ 30674-99 4М1-16-К4 $R_{0,ок}$ = 0,54 м²·°С/Вт.

5. Двери

Нормируемое сопротивление теплопередаче наружных дверей, м²·°С/Вт, должно быть не меньше 0,6·$R_{тр,ст}$ стен здания, определяемого по формуле:

$$R_{тр,ст} = \frac{(t_в - t_н)}{\Delta t^н \cdot \alpha_в},$$

где $t_в$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С;

$t_н$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С;

$\Delta t^н$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции; $\Delta t^н$ = 4,5°С;

$\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/м²·°С.

Нормируемое сопротивление теплопередаче наружных дверей:

$$R_{тр,дв} = 0{,}6\frac{18+24}{4{,}5 \cdot 8{,}7} = 0{,}644 \text{ м}^2 \cdot {}^\circ\text{С/Вт}$$

В проекте предусмотрены двери по ГОСТ 31173-2003 класс 2 с показателем приведённого сопротивления теплопередаче $R_{о,дв}$ = 0,7 м²·°С/Вт.

Условие $R_{тр} \leq R_о$ выполнено. Ограждение удовлетворяет требованиям тепловой защиты.

Расчет удельных расходов тепловой энергии

Удельная теплозащитная характеристика здания рассчитывается по формуле:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}}\Sigma\left(n_{t.i}\frac{A_{ф,i}}{R_{о,i}^{пр}}\right) = \frac{1}{307{,}55}\left(\frac{141{,}93}{2{,}86} + \frac{21{,}85}{0{,}54} + \frac{8{,}55}{0{,}7} + \frac{95{,}78}{3{,}55} + \frac{95{,}77}{4{,}5}\right) = 0{,}49.$$

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания определяется по формуле:

$$k_{об}^{тр} = \frac{4{,}74}{0{,}00013 \cdot ГСОП + 0{,}61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}} \cdot = \frac{4{,}74}{0{,}00013 \cdot 4111 + 0{,}61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{307{,}55}} = 0{,}61$$

Удельная теплозащитная характеристика здания меньше нормируемой величины, что удовлетворяет нормативным требованиям.

Приведенный трансмиссионный коэффициент определяется по формуле:

$$K_{общ} = \frac{k_{об}}{K_{комп}} = \frac{0{,}49}{1{,}18} = 0{,}41 \text{ Вт/ (м}^2\cdot{}^\circ\text{С)}.$$

Удельная вентиляционная характеристика здания определяется по формуле:

$$k_{вент} = 0{,}28 \cdot c \cdot n_в \cdot \beta_v \cdot \rho_v^{вент} (1 - k_{эф}),$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

β_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций, $\beta_v = 0{,}85$;

$n_в$ – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, $ч^{-1}$;

$k_{эф}$ – коэффициент эффективности рекуператора;

$\rho_v^{вент}$ – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м^3

$$\rho_v^{вент} = \frac{353}{273 + t_{от}} = \frac{353}{273 + (-1{,}3)} = 1{,}3 \text{ кг/м}^3$$

Средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, рассчитывается по формуле, $ч^{-1}$:

$$n_в = [(L_{вент} \cdot n_{вент})/168 + (G_{инф} \cdot n_{инф})/(168 \cdot \rho_в^{вент})]/(\beta_v \cdot V_{от}),$$

где $L_{вент}$ – количество приточного воздуха в здание при неорганизованном притоке, м3/ч; при механической вентиляции для общественных зданий определяется по формуле:

$$L_{вент} = 4 \cdot A_р = 4 \cdot 71{,}93 = 288 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$n_{вент}$ – число часов работы механической вентиляции в течение недели, принято 60;

$n_{инф}$ – число часов учета инфильтрации в течение недели, принято равным 168;

$G_{инф}$ – количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через ограждения в течение 1 ч, под действием средней разности давлений, кг/ч, находится по формуле:

$$G_{инф} = \left(\frac{A_{ок}}{R_{и,ок}}\right)\left(\frac{\Delta p_{ок}}{10}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{A_{дв}}{R_{и,дв}}\right)\left(\frac{\Delta p_{дв}}{10}\right)^{\frac{1}{2}},$$

где $A_{ок}$ и $A_{дв}$ – соответственно суммарная площадь окон и балконных дверей и входных на ружных дверей, м^2;

$R_{и,ок}$ и $R_{и,дв}$ – соответственно сопротивление воздухопроницанию окон и балконных две- рей и входных наружных дверей, м^2·ч/кг; $R_{и,ок} = 0{,}44$ м^2·ч/кг, $R_{и,д} = 0{,}16$ м^2·ч/кг;

$\Delta p_{ок}$ и $\Delta p_{дв}$ – соответственно расчетная разность давлений наружного и внутреннего воз- духа, Па, определяемая по формуле:

$$\Delta p_{ок} = 0{,}28H(\gamma_н - \gamma_в) + 0{,}03\gamma_н v^2,$$

$$\Delta p_{дв} = 0{,}55H(\gamma_н - \gamma_в) + 0{,}03\gamma_н v^2,$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;

$\gamma_н$ и $\gamma_в$ – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м^3, определяе- мый по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t},$$

где t – температура воздуха: внутреннего (для определения $\gamma_в$) – принимается равной расчетной температуре внутреннего воздуха здания; наружного (для определения $\gamma_н$) – принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с.

Удельный вес наружного воздуха: $\gamma_н$ = 3463 / (273 + (–24)) = 13,91 Н/м^3;

Удельный вес внутреннего воздуха: $\gamma_в$ = 3463 / (273 + 18) = 11,90 Н/м^3.

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней сторонах ограждений:

$$\Delta p_{ок} = 0{,}28 \cdot 4{,}5\ (13{,}91 - 11{,}90) + 0{,}03 \cdot 13{,}91 \cdot 3{,}3^2 = 7{,}1 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{дв} = 0{,}55 \cdot 4{,}5\ (13{,}91 - 11{,}90) + 0{,}03 \cdot 13{,}91 \cdot 3{,}3^2 = 9 \text{ Па}.$$

Количество инфильтрующегося воздуха, поступающего через ограждения:

$$G_{инф} = \left(\frac{21{,}85}{0{,}44}\right)\left(\frac{7{,}1}{10}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{8{,}55}{0{,}16}\right)\left(\frac{9}{10}\right)^{\frac{1}{2}} = 90{,}22 \text{ кг/ч}.$$

Средняя кратность воздухообмена за отопительный период составляет:

$$n_в = [(288 \cdot 60)/168 + (90{,}22 \cdot 168)/(168 \cdot 1{,}3)]/(0{,}85 \cdot 307{,}55) = 0{,}65 \text{ ч}^{-1}$$

Удельная вентиляционная характеристика здания равна:

$$k_{вент} = 0{,}28 \cdot 1 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}85 \cdot 1{,}3 \cdot (1 - 0) = 0{,}20 \text{ Вт/(м3·}^{o}\text{C)}$$

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается по формуле:

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} \cdot n_{чел}}{V_{от} \cdot (t_в - t_{от})} = \frac{90 \cdot 6 + 10 \cdot 71{,}93}{307{,}55 \cdot (18 - (-1{,}3))} = 0{,}21 \text{ Вт/(м}^3\text{·}^{o}\text{C)},$$

где $q_{быт}$ – величина бытовых тепловыделений от людей, находящихся в здании; для $q_{быт}$ = 90 Вт/чел и 10 Вт/м^2 на освещение и орг. технику

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации определяется по формуле:

$$k_{рад} = \frac{11{,}6 \cdot Q_{рад}^{год}}{V_{от} \cdot ГСОП}$$

где $Q_{рад}^{год}$ – теплопоступления через светопроемы от солнечной радиации в течение отопительного периода МДж, для четырех фасадов определяется по формуле:

$$Q_{рад}^{год} = \tau_{1ок} \cdot \tau_{2ок} \cdot (A_{ок1} \cdot I_1 + A_{ок2} \cdot I_2 + A_{ок3} \cdot I_3 + A_{ок4} \cdot I_4) + \tau_{1фон} \cdot \tau_{2фон} \cdot A_{фон} \cdot I_{гор},$$

где $\tau_{1ок}$, $\tau_{1фон}$ – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений, принимаемые по паспортным данным;
$\tau_{2ок}$, $\tau_{2фон}$ – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема непрозрачными элементами заполнения;
$A_{ок1}$, $A_{ок2}$, $A_{ок3}$, $A_{ок4}$ – площадь светопроемов фасадов здания, ориентированных по четырем направлениям, м^2;
$A_{фон}$ – площадь светопроемов зенитных фонарей здания, м^2;
I_1, I_2, I_3, I_4 – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности, соответственно ориентированная по четырем фасадам здания, МДж/(м^2·год);
$I_{гор}$ – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/(м^2·год);

$$Q_{рад}^{год} = 0{,}85 \cdot 0{,}8 \cdot (7{,}15 \cdot 1009 + 4{,}5 \cdot 394 + 7{,}5 \cdot 650 +$$

$$+ 2{,}7 \cdot 650) + 0{,}85 \cdot 0{,}8 \cdot 0 \cdot 0 = 10620 \text{ МДж}$$

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации равна:

$$k_{рад} = \frac{11{,}6 \cdot 10620}{307{,}55 \cdot 4111} = 0{,}097 \text{ Вт/(м}^3\cdot{}^\circ\text{C)}$$

Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м^3·°С) определяется по формуле:

$$q^р_{от} = (k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot v \cdot \zeta) \cdot (1 - \xi) \cdot \beta_h ,$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м^3·°С);
$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м^3·°С);
$k_{быт}$ – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м^3·°С);
$k_{рад}$ – удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м^3·°С);
ξ – коэффициент, учитывающий снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление, $\xi = 0{,}1$;
β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными потерями через зарадиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения $\beta_h = 1{,}07$;
ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления, $\zeta = 0{,}95$;

v – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемые значения определяют по формуле:

$$v = 0{,}7 + 0{,}000025 \cdot (\text{ГСОП} - 1000) = 0{,}7 + 0{,}000025 \cdot (4111 - 1000) = 0{,}78;$$

$$q^р_{от} = (0{,}49 + 0{,}20 - (0{,}21 + 0{,}097) \cdot 0{,}78 \cdot 0{,}95) \cdot (1 - 0{,}1) \cdot 1{,}07 = 0{,}44 \text{ Вт/(м}^3\cdot{}^\circ\text{C)}$$

Полученная расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период $q^р_{от}$ = 0,44 Вт/(м^3·°С) меньше нормируемой удельной характеристики расхода тепловой энергии $q^{тр}_{от}$ = 0,417Вт/(м^3·°С) . Класс энергетической эффективности здания «С» – нормальный.

Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный