

К Жатайскому дому

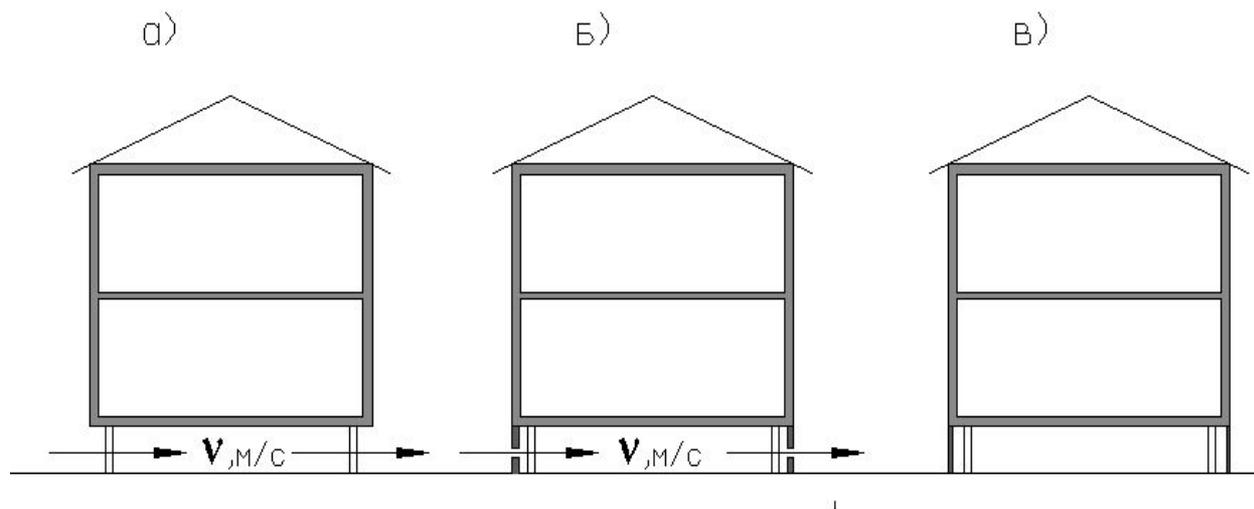
Известно, что традиционный способ строительства малоэтажных жилых зданий из древесины предусматривает наличие подполья с утеплением не только цокольного перекрытия, но и стенок подполья. Возникает вопрос, *можно ли возводить здания с подпольями с утепленными стенками при наличии вечномерзлых грунтов?*

Специалистами Института мерзлотоведения Академии наук выполнен ряд работ, подтверждающих такую возможность. Например, Г.О. Лукин (1946), Н.И. Салтыков (1946), В.Ф. Тумель (1964) и другие, проводившие наблюдения за основаниями отапливаемых зданий на Севере, дают однозначно положительный ответ. Согласно собранным ими данным, в условиях сурового климата и низкой температуры грунтов в гг. Якутске и Дудинке, под деревянными зданиями шириной до 10-12 м с двойными полами и подпольями высотой до 0,3...0,4 м не наблюдаются протаивания. И это несмотря на то, что наружные и внутренние завалинки, окружающие подполья, тщательно закрываются на зиму и открываются в летнее время для проветривания во

П.И. Мельников, В.Я. Шамшура, тоже делают аналогичное заключение: «...при сооружении же жилых зданий и зданий с тепловым режимом, близким к жилым, можно ограничиться устройством двойного теплого пола и подполья высотой 0,25-0,5 м».

Салтыков Н.И.: «В г. Норильске имеется ряд домов, эксплуатируемых без проветривания подполья, где мерзлота все же сохраняется. Среднегодовая температура в таких подпольях колеблется от -0,5 до +1,0 °С. ... Холодные непроветриваемые подполья могут быть выгодными с точки зрения предохранения квартир первого этажа от охлаждения через пол».

Г.В. Порхаев отмечает, что под многими зданиями дореволюционной постройки в г. Якутске глубина оттаивания за 20–30-летний срок эксплуатации достигала всего 2,5–3,5 м. В его монографии приводится рекомендация: «Во многих районах области распространения вечномерзлых грунтов со средней температурой порядка $-3 - -4$ °С и ниже, жилые здания можно возводить на фундаментах, заглубленных ниже зоны оттаивания, устраивая под зданиями теплые



Типы подполий зданий, описанные в нормах проектирования “Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах”: а) вентилируемые подполья; б) подполья с вентилируемыми продухами в цоколе здания; в) закрытые подполья (как правило, подполье закрывается по периметру тонкими листовыми материалами).

Уравнение баланса энергии на земной поверхности:

$$R = P + LE + B + \Delta W$$

R – радиационный баланс, МДж/м²;

P – интенсивность турбулентного теплообмена с атмосферой, МДж/м²;

LE – затраты тепла на испарение, МДж/м²

L – величина испарения;)

E – теплота испарения воды;

B – тепловой поток в грунт или снег, МДж/м²;

ΔW – тепло, идущее на таяние снега, МДж/м².

Радиационный баланс определяется зависимостью:

$$R = (S^1 + D)(1 - A) - E_{эф}$$

где

S^1 – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м²;

D – рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м²;

A – альbedo деятельной поверхности, %;

$E_{эф}$ – эффективное излучение.

Модель основана на решении трехмерной задачи теплопроводности:

$$\left[c\rho(T) + m\rho_{\text{л}}L \frac{d\beta_{\text{л}}}{dT} \right] \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right),$$

$$(x, y, z) \in \Omega, \quad t > 0;$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \quad x = \pm\infty;$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad y = \pm\infty;$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha^* (T - T^*) + (1 - A) Q_c, \quad z = 0;$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} = 0, \quad z = \infty;$$

$$T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z);$$

Теплообмен в подполье задается параметрами:

$$\alpha_{\Pi}^* = \frac{\alpha_1 + \frac{S_2}{S_{\Pi}} \alpha_2}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{S_2 \alpha_2}{S_{\Pi} \alpha_{\Pi}}}$$

$$T_{\Pi}^* = \frac{\frac{\alpha_1}{\alpha_{\Pi}} T_{\text{В}} + \frac{S_2 \alpha_2}{S_{\Pi} \alpha_{\Pi}} T_{\text{Н}}}{\frac{\alpha_1}{\alpha_{\Pi}} + \frac{S_2 \alpha_2}{S_{\Pi} \alpha_{\Pi}}}$$

где α_n , T_n – коэффициент теплообмена на дневной поверхности
и температура наружного воздуха, соответственно;

α_1 , α_2 , α_n – коэффициенты теплообмена на перекрытиях цоколя,
стенки

подполья и на полу;

T_v , T_n – температуры внутреннего и наружного воздуха,

$S_{\Pi} = ab$ $S_2 = 2(b + a)H_{\Pi}$ – площадь пола и суммарная площадь
стенки подполья, при длине a , ширине b
здания и высоте H_{Π} подполья.

**Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность
при действительных условиях облачности, МДж/м²**

| Населенный пункт | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Якутск | 34 | 114 | 329 | 509 | 591 | 658 | 627 | 469 | 283 | 141 | 54 | 18 |

Альbedo деятельной поверхности, %

| Населенный пункт | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Якутск | 78 | 79 | 76 | 54 | 17 | 18 | 18 | 18 | 19 | 51 | 78 | 77 |

Среднемесячные значения эффективного излучения, Ккал/см²

| Населенный пункт | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Якутск | 0.8 | 1.0 | 1.8 | 2.4 | 4.3 | 4.8 | 4.1 | 3.7 | 3.1 | 1.6 | 1.0 | 0.7 |

Среднемесячные значения температуры наружного воздуха, °С

| Населенный пункт | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------|-------|-------|------|-----|------|------|------|-----|------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Якутск | -39,6 | -35,0 | -20,8 | -5,2 | 7,3 | 16,1 | 19,1 | 15,1 | 5,9 | -8,0 | -28,2 | -38,1 |

Выбрана следующая формула для определения коэффициента конвективного теплообмена:

$$\alpha_k = K v^{0,8} l^{-0,2}$$

Среднемесячные значения скоростей ветра, м/с

| Населенный пункт | Месяцы | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| Якутск | 1,4 | 1,3 | 2,0 | 2,8 | 3,4 | 3,3 | 2,9 | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,0 | 1,3 |

Зависимость значений коэффициента К от температуры

| t, °C | К |
|-------|------|
| -50 | 6.96 |
| -40 | 6.76 |
| -30 | 6.62 |
| -20 | 6.47 |
| -10 | 6.35 |
| 0 | 6.22 |
| 10 | 6.08 |
| 20 | 5.97 |
| 30 | 5.87 |
| 40 | 5.79 |

Термическое сопротивление снегового покрова нормы проектирования рекомендуют определять по формуле:

$$R_s = m_l \frac{(1 + 0.2)d_s}{0.02 + \rho_s}$$

где m_l – коэффициент учета размерностей;

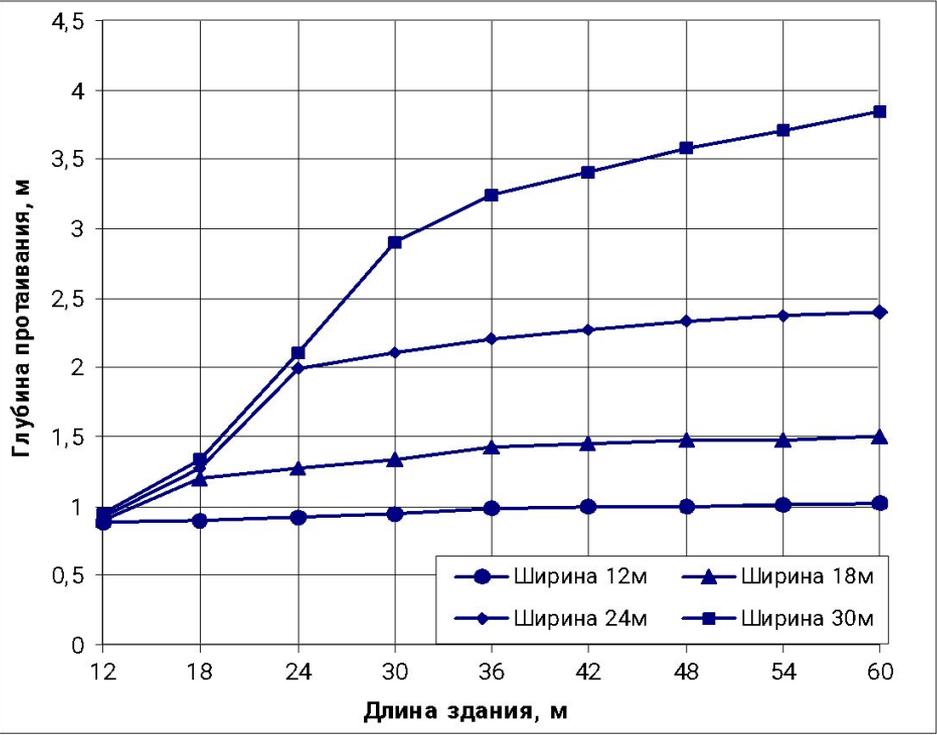
d_s – средняя высота снегового покрова, м; принимаемая по метеоданным;

ρ_s – средняя плотность снегового покрова, $\text{т} / \text{м}^3$,
принимаемая по метеоданным.

Параметры снегового покрова

| Н. пу нкт | Месяцы | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----|----|----|----|
| | X | | | XI | | | XII | | | I | | | II | | | III | | | IV | | | V | | |
| | Декады | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | 22 | 33 | 11 | 22 | 33 | 11 | 22 | 33 | 11 | 22 | 33 | 11 | 22 | 33 | 11 | 22 | 33 | 11 | 22 | 33 | 11 | 22 | 33 |
| Як утс к | Высота снежного покрова по постоянной рейке (см) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 11 | 23 | 55 | 88 | 111 | 114 | 116 | 117 | 119 | 222 | 223 | 225 | 227 | 227 | 228 | 229 | 228 | 228 | 225 | 119 | 88 | 11 | -- | - |
| | Плотность снежного покрова по снегосъемкам на последний день декады (м/см ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | 0. 1 3 | 0. 1 3 | 0. 1 3 | 0. 1 3 | 0. 1 4 | 0. 1 4 | 0. 1 5 | 0. 1 4 | 0. 1 5 | 0. 1 5 | 0. 1 7 | 0. 1 6 | 0. 1 6 | 0. 1 6 | 0. 1 6 | 0. 1 7 | 0. 1 7 | 0. 1 8 | 0. 1 0 | 0 2 4 | - | - | - | |

На рис. показаны зависимости глубины оттаивания под центром здания и величины плотности теплового потока через цокольное перекрытие от размеров основания зданий, при высоте подполья $H_{\text{п}} = 0,5 \text{ м}$, $R_{\text{о,п}} = R_{\text{о,с}} = 3,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, соответственно. Глубина оттаивания практически не зависит от длины здания, если последняя составляет более двух размеров ширины.



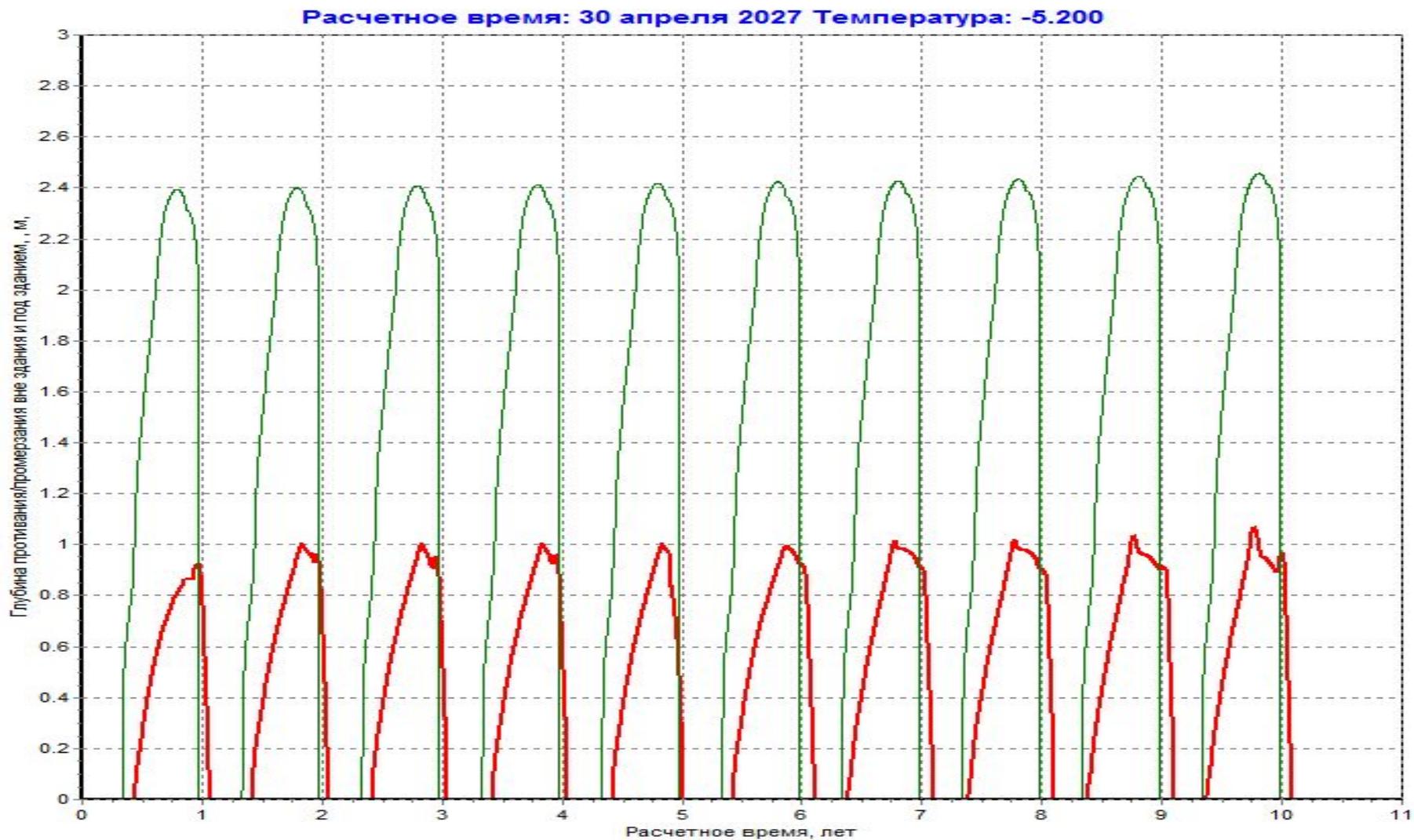
Глубина протаивания вечномерзлых грунтов

| Контролируемый параметр | Данные натуральных обследований | Одномерная модель | Трёхмерная модель |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| Максимальная глубина протаивания, м | 2,15 | 2,08 | 1,98 |
| Глубина протаивания на 1 августа, м | 1,65 | 1,59 | 1,55 |

В качестве теплоизоляции принята минеральная плита с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,042$ Вт/м град. Расчеты проводились для двух типов зданий при использовании двух вариантов теплозащиты с толщиной слоя 0,05 и 0,1 м, соответственно. Первый тип (1) относится к зданию с размерами в плане 15х30м, второй тип (2) здание Г-образной конфигурации в плане, образованное примыканием друг к другу его частей с размерами 20х30м.

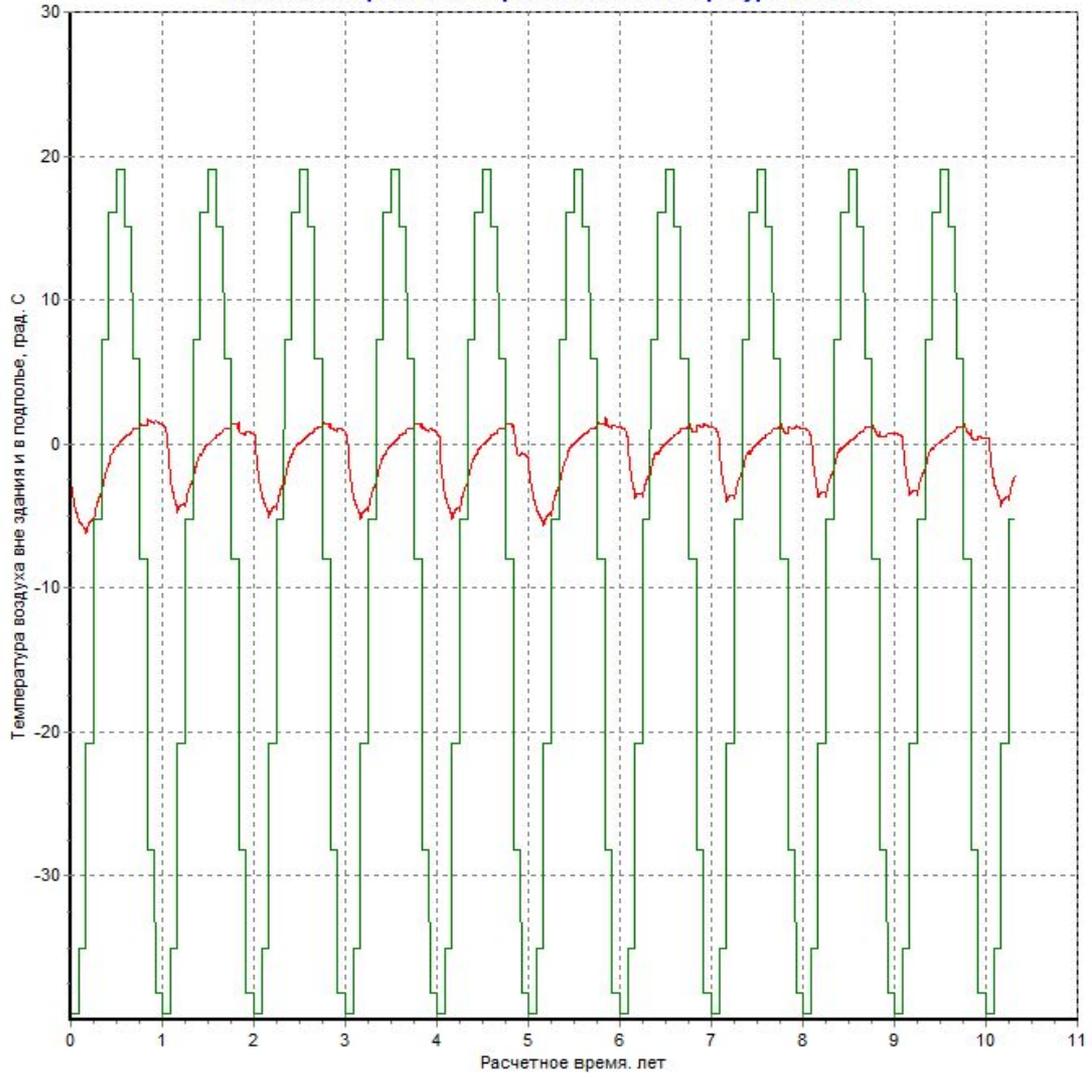
С учетом установления многолетнего температурного режима грунтов оснований, расчетное время принято до 10 лет.

Рис. Динамика глубины оттаивания грунтов под зданием (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,05 м.



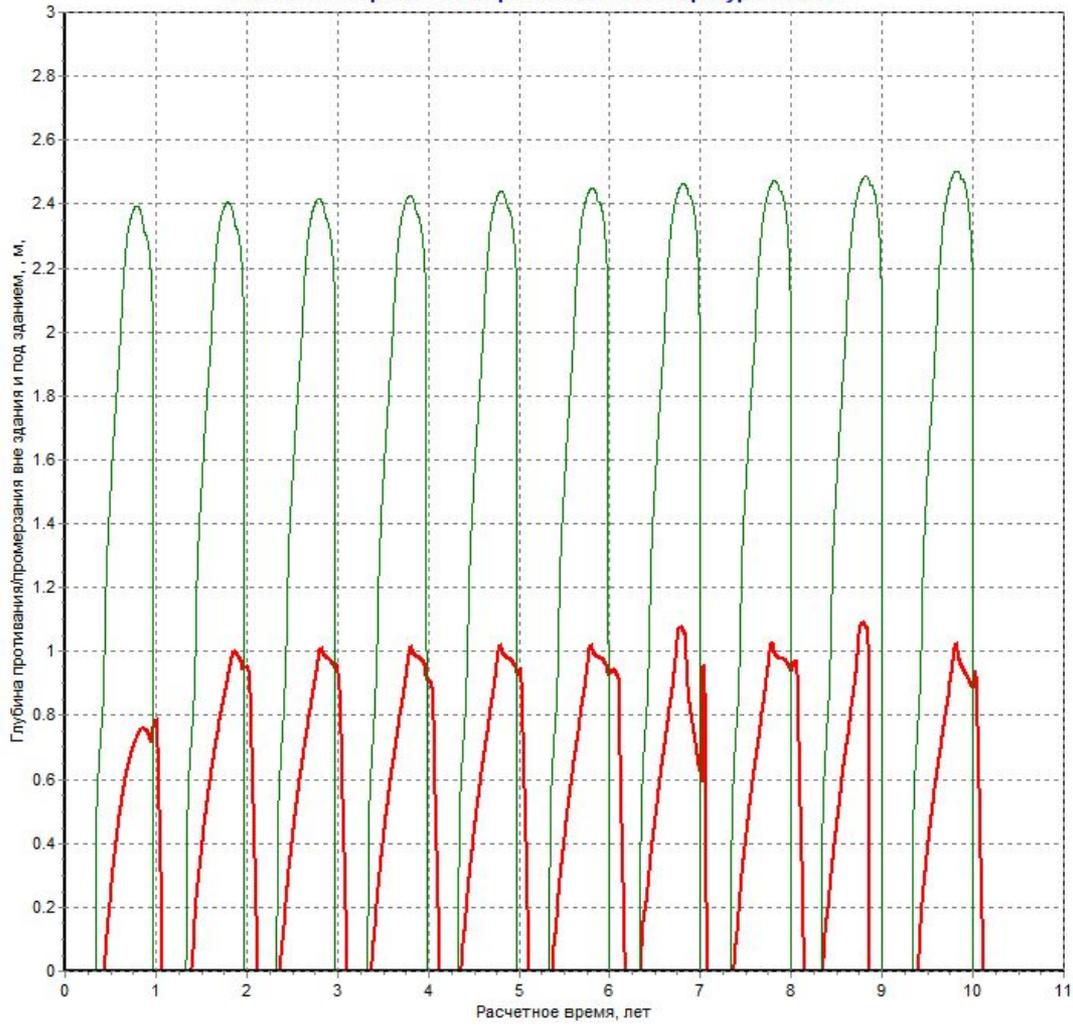
Динамика изменения температуры воздуха в подполье (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,05 м.

Расчетное время: 30 апреля 2027 Температура: -5.200



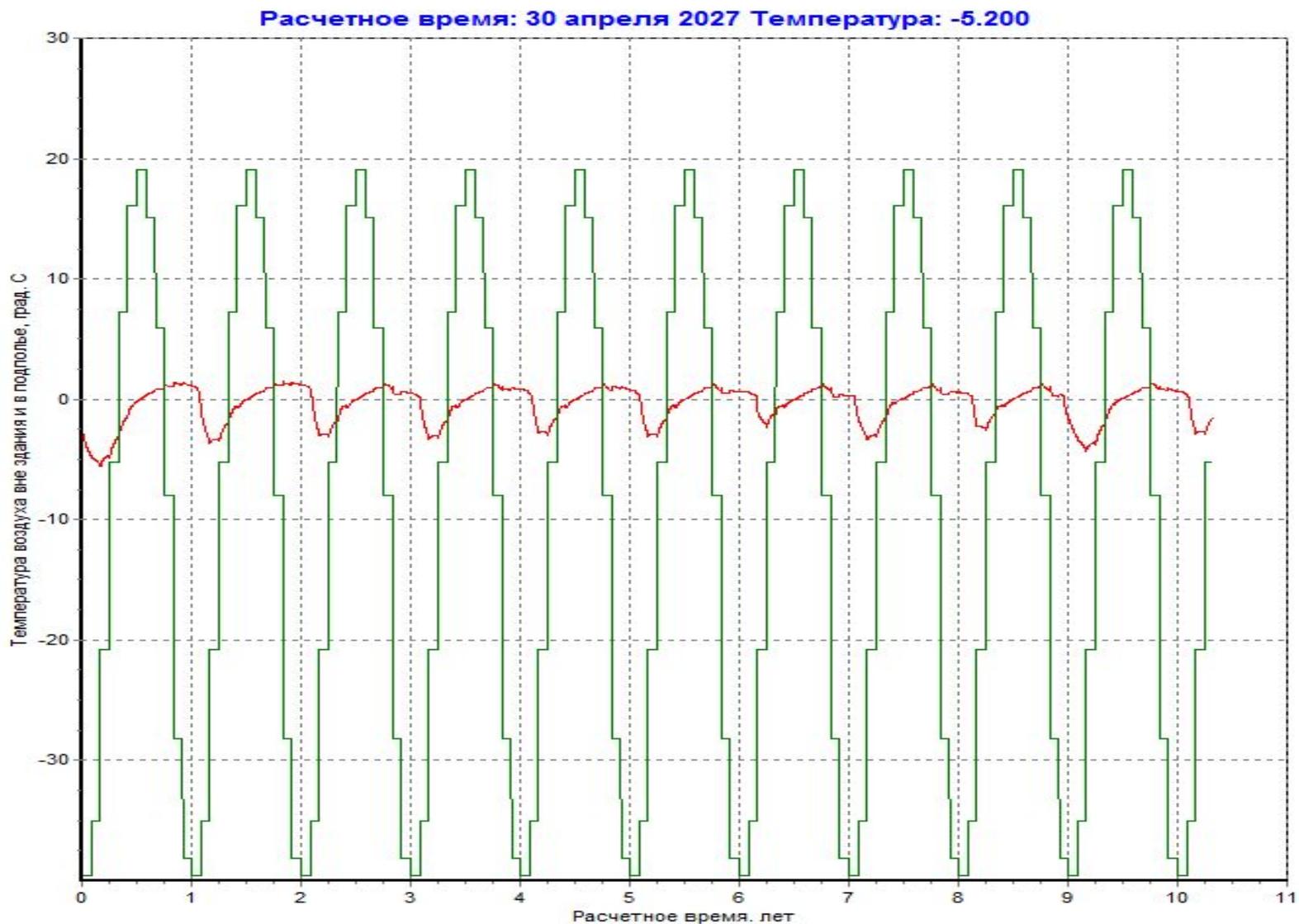
Для варианта со зданием Г – образной формы в плане, результаты расчетов представлены на последующих рисунках.

Расчетное время: 30 апреля 2027 Температура: -5.200



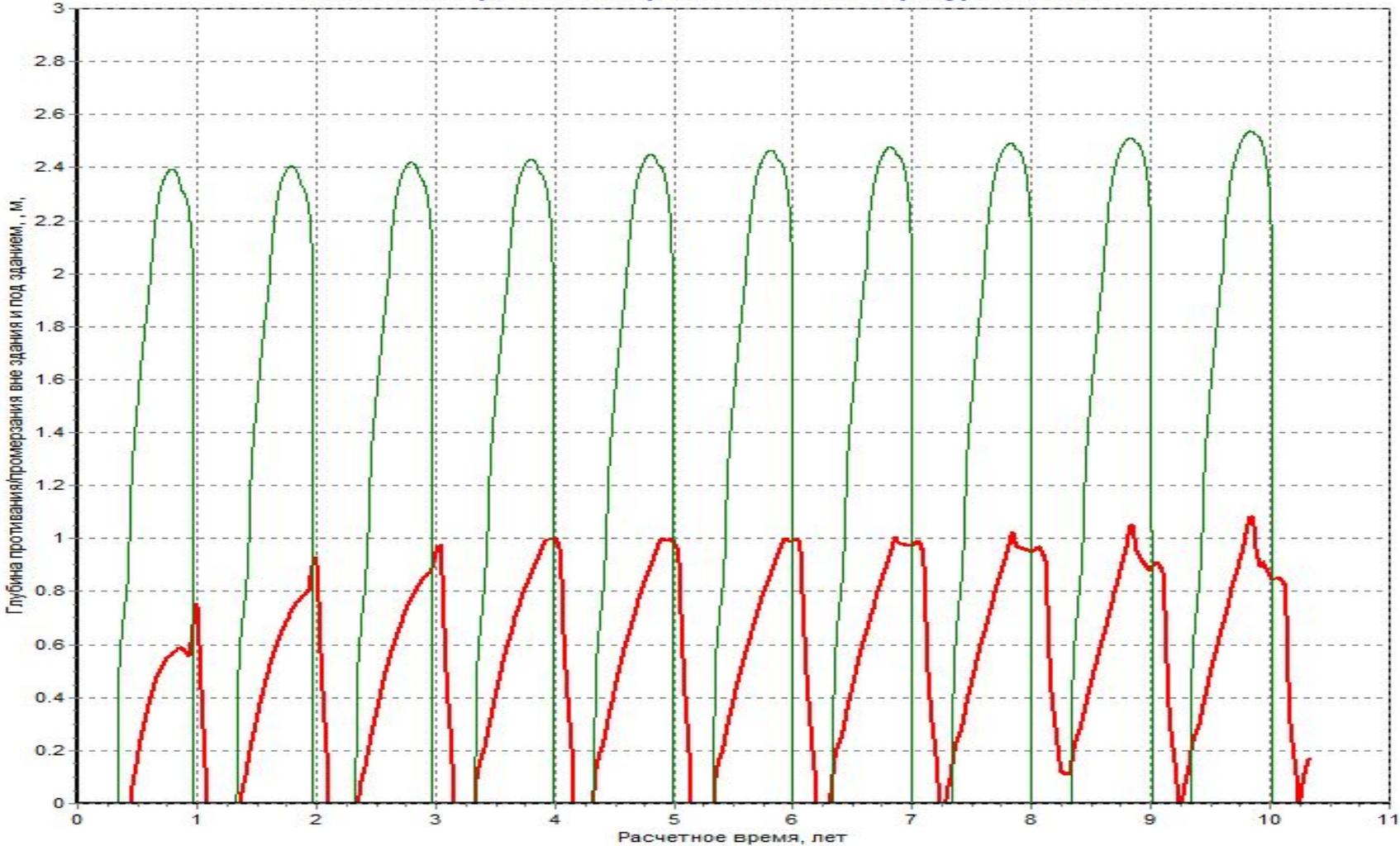
Динамика глубины оттаивания грунтов под зданием (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,05 м.

Динамика изменения температуры воздуха в подполье (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,05 м.



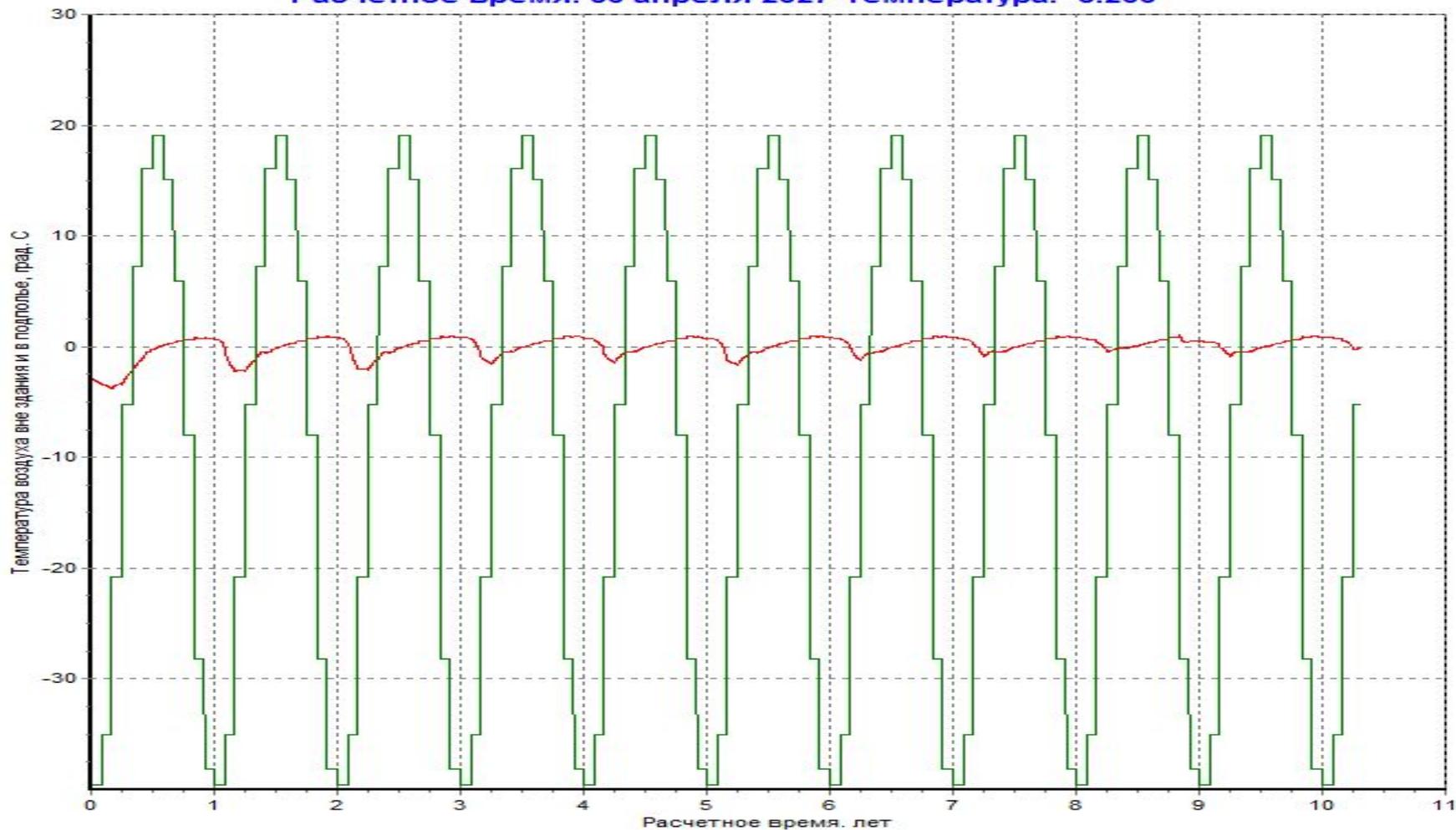
Динамика глубины оттаивания грунтов под зданием (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,1 м.

Расчетное время: 30 апреля 2027 Температура: -5.200



Динамика изменения температуры воздуха в подполье (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,1 м.

Расчетное время: 30 апреля 2027 Температура: -5.200



Суммарный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, в соответствии с гл.7 СП 50.13330.2012, определяется по формуле:

$$\Delta p = 0.55H(\gamma_n - \gamma_e) + 0.03\gamma_n v^2$$

v – скорость ветра, м/с.

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

γ_n , γ_e – удельные веса соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³;

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций находится в прямой пропорциональной зависимости от перепада давлений. Перепад давлений зависит от разницы удельных весов воздуха, что, в свою очередь, зависит от перепада температур. Соответственно, повышение температуры в подполье значительно снизить инфильтрацию холодного воздуха, а совместно с снижением теплопереноса через цокольное перекрытие

На основании проведенных численных расчетов с применением программы расчета можно сделать следующие выводы:

- Утепление стенок подполья значительно повышает температуру внутри подполья;
- Вариацией толщины утеплителя можно выбрать вариант, при котором будет исключено формирование чаши оттаивания при повышении температуры в подполье;
- Повышение температуры подполья значительно снизит инфильтрационную составляющую тепловых потерь;
- Снижение влияния теплопроводных включений и инфильтрации воздуха приведет к повышению температуры пола;
- Будет достигнута экономия на отопление здания за счет снижения тепловых потерь.