

К Жатайскому дому

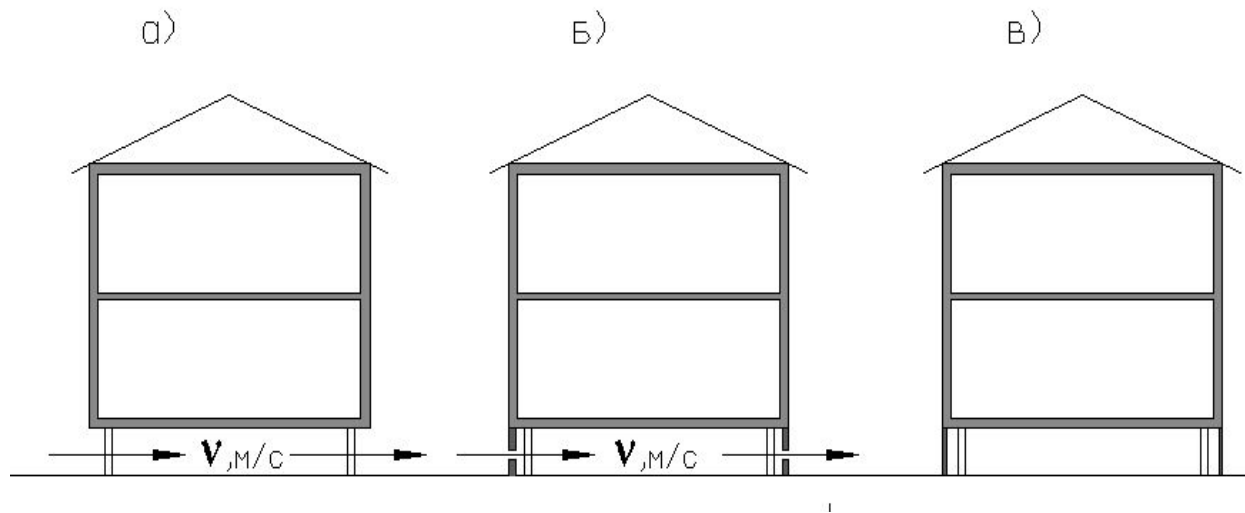
Известно, что традиционный способ строительства малоэтажных жилых зданий из древесины предусматривает наличие подполья с утеплением не только цокольного перекрытия, но и стенок подполья. Возникает вопрос, *можно ли возводить здания с подпольями с утепленными стенками при наличии вечномерзлых грунтов?*

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/м<sup>2</sup>;

$P$  – интенсивность турбулентного теплообмена с атмосферой, МДж/м<sup>2</sup>;

$LE$  – затраты тепла на испарение, МДж/м<sup>2</sup>

$L$  – величина испарения;)

$E$  – теплота испарения воды;

$B$  – тепловой поток в грунт или снег, МДж/м<sup>2</sup>;

$\Delta W$  – тепло, идущее на таяние снега, МДж/м<sup>2</sup>.

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/м<sup>2</sup>;

$D$  – рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности, МДж/м<sup>2</sup>;

$A$  – 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  $\alpha_n$ ,  $T_n$  – коэффициент теплообмена на дневной поверхности  
и температура наружного воздуха, соответственно;

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_n$  – коэффициенты теплообмена на перекрытиях цоколя,  
стенки

подполья и на полу;

$T_v$ ,  $T_n$  – температуры внутреннего и наружного воздуха,

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

**Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность  
при действительных условиях облачности, МДж/м<sup>2</sup>**

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/см<sup>2</sup>

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;

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

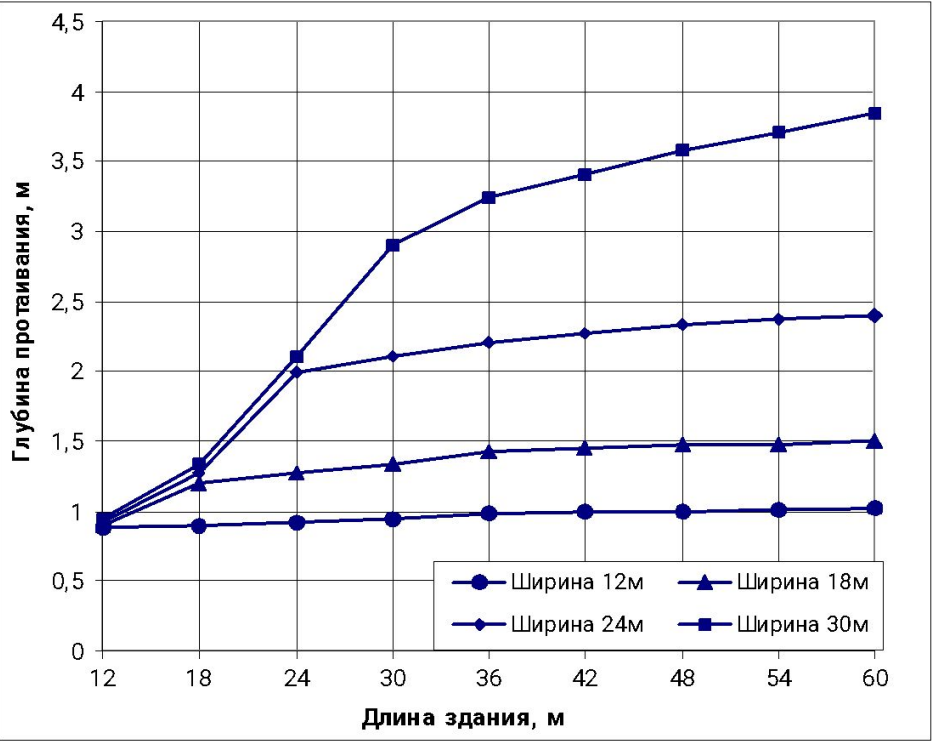
# Параметры снегового покрова

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 <sup>2</sup> )																							
-	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.



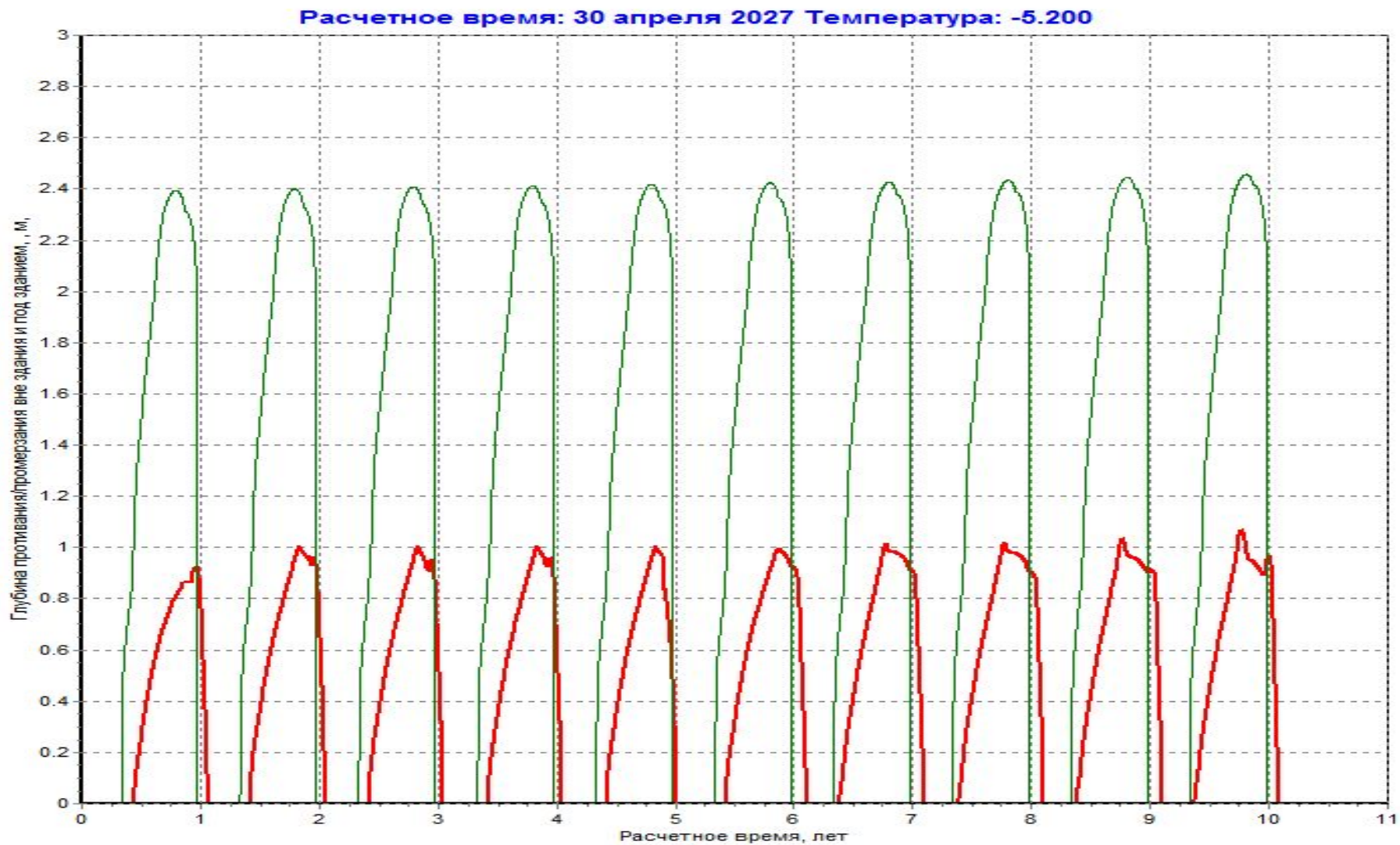
## Глубина протаивания вечномерзлых грунтов

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.

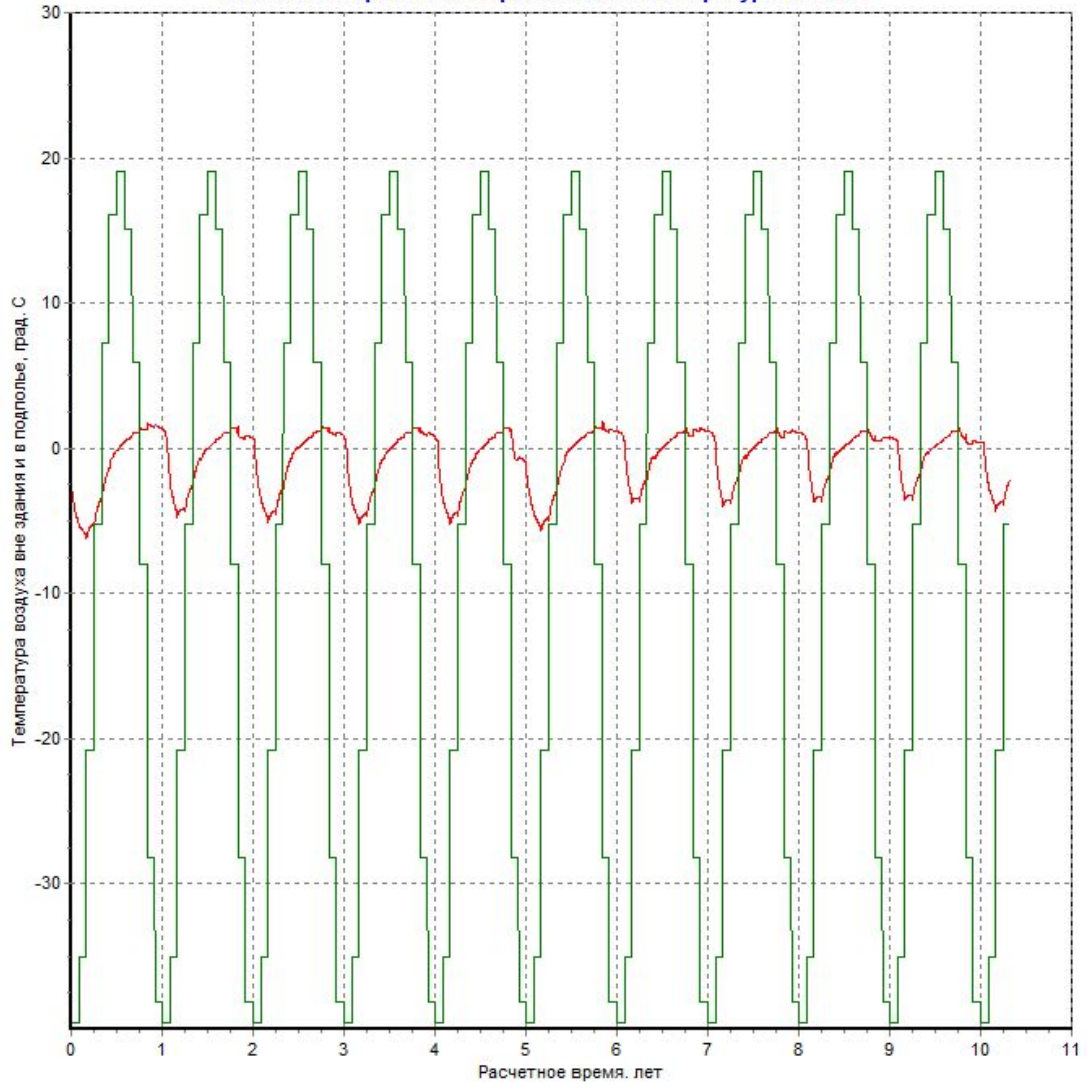
С учетом установления многолетнего температурного режима грунтов оснований, расчетное время принято до 10 лет.

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



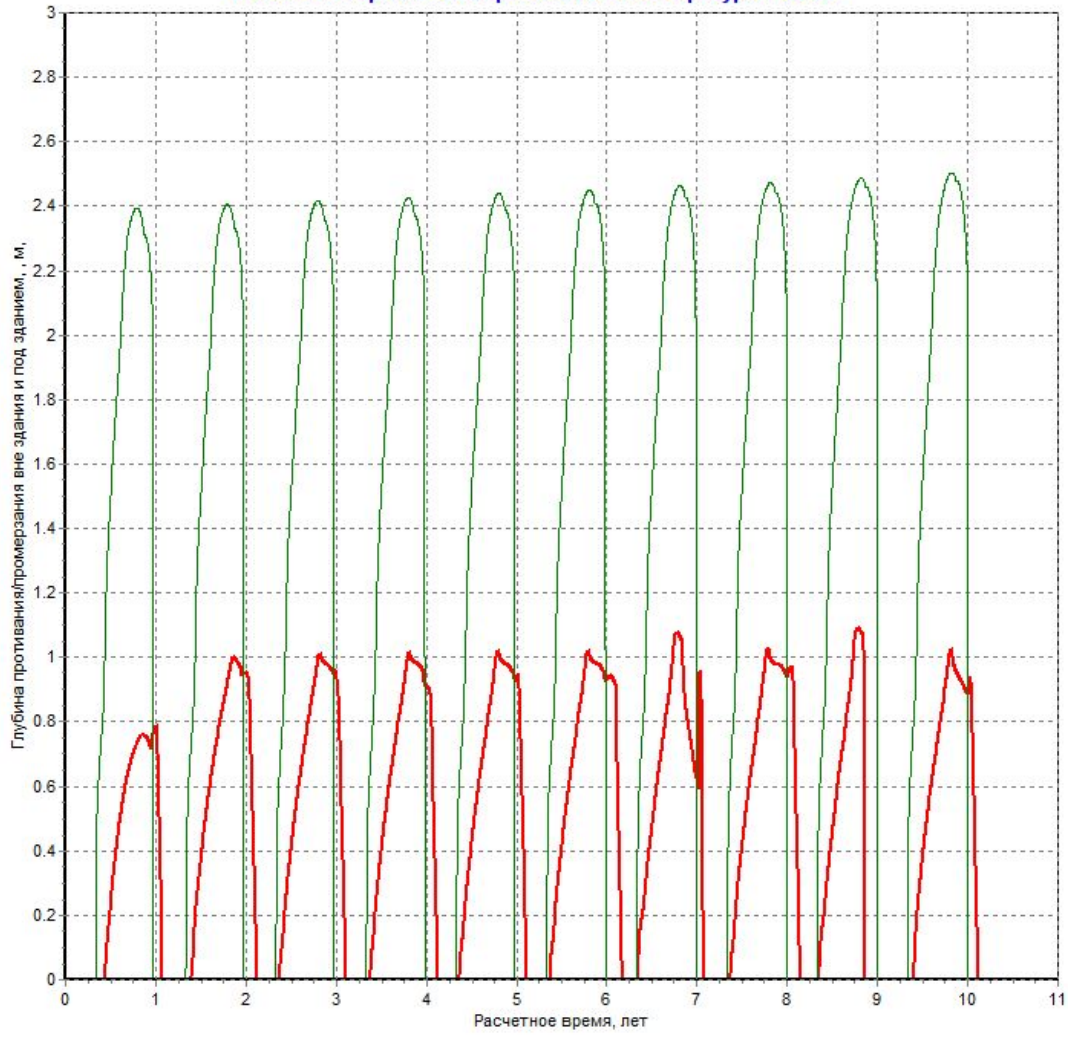
Динамика изменения температуры воздуха в подполье (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,05 м.

Расчетное время: 30 апреля 2027 Температура: -5.200



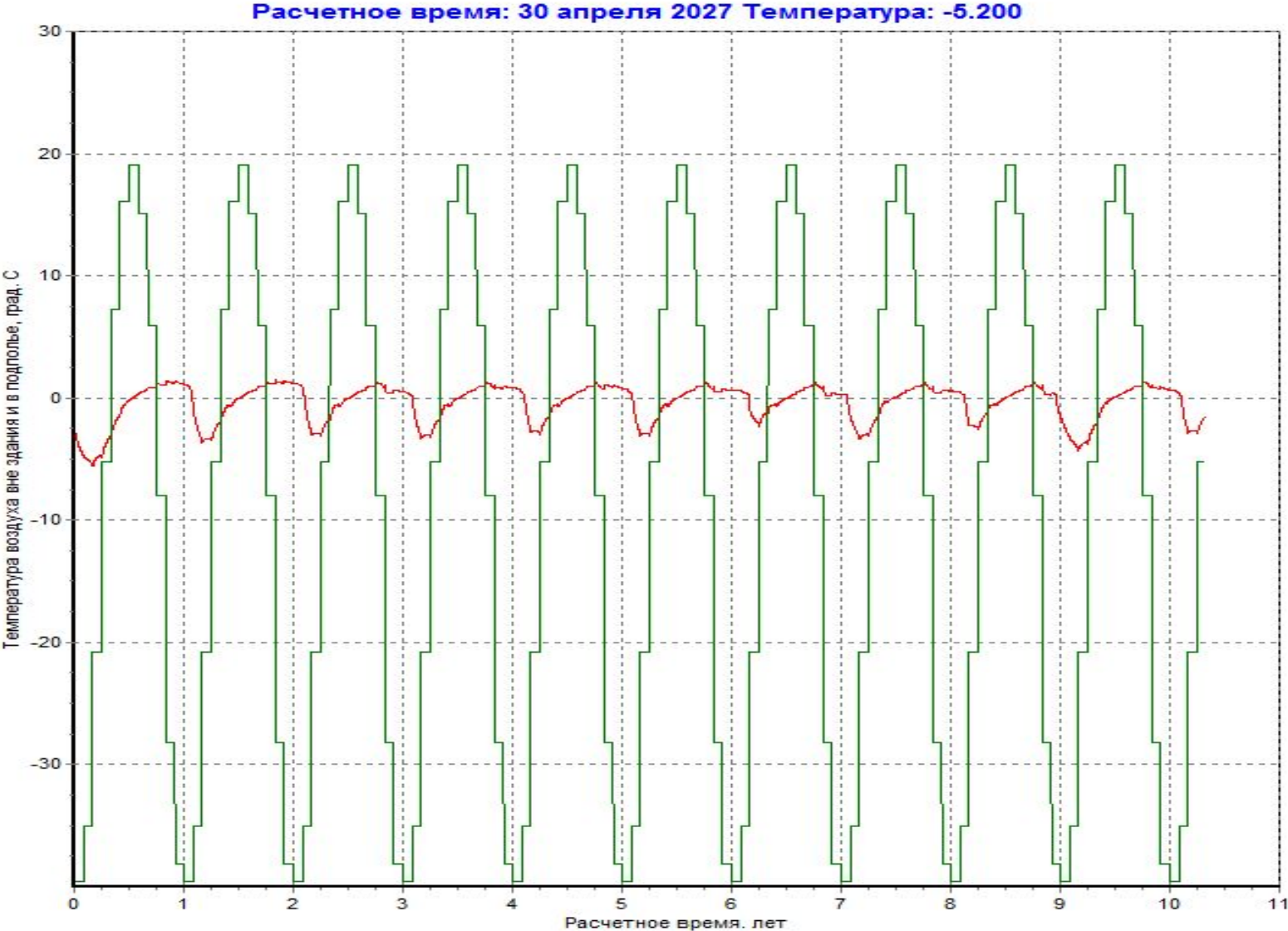
Для варианта со зданием Г – образной формы в плане, результаты расчетов представлены на последующих рисунках.

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.

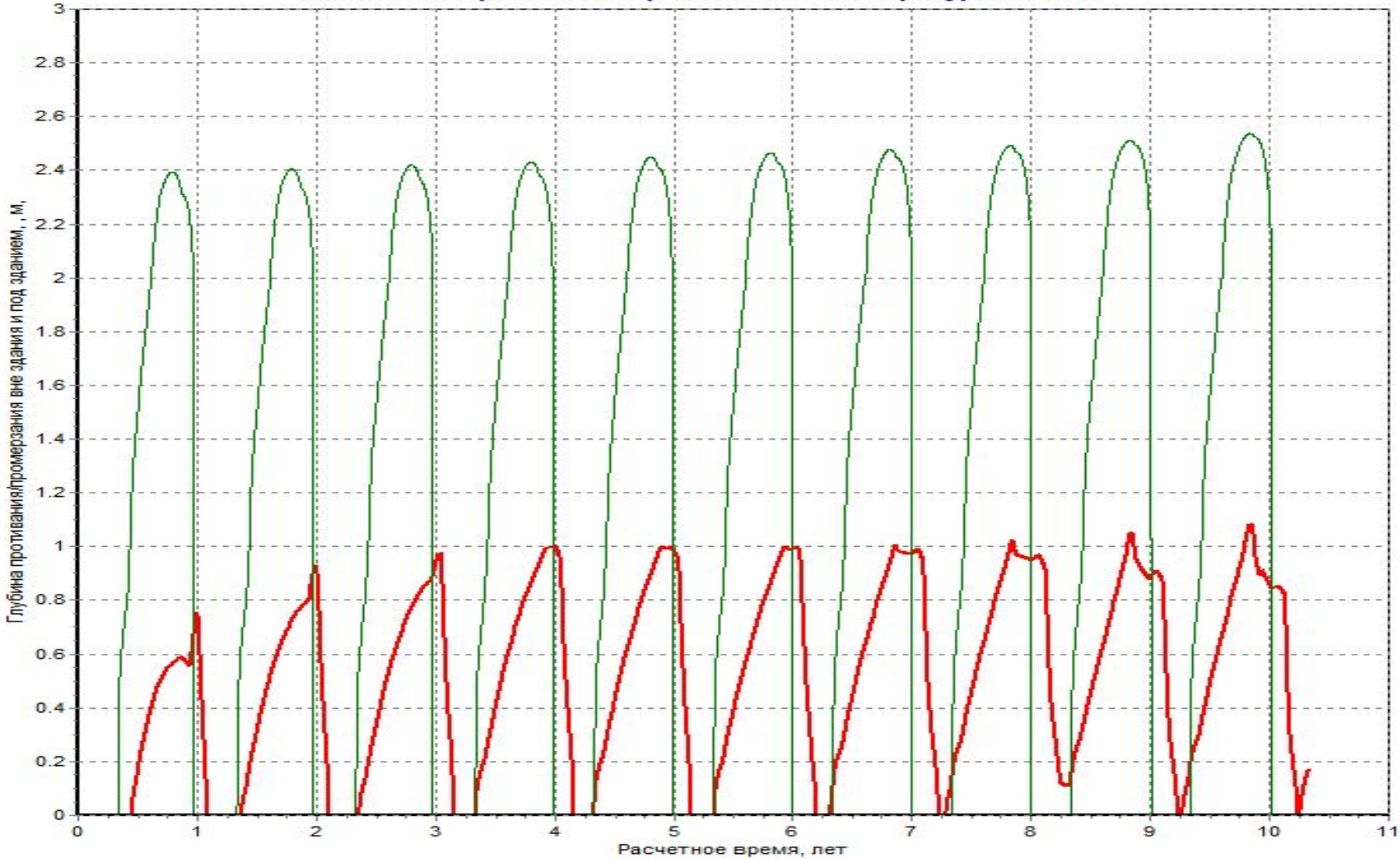
Динамика изменения температуры воздуха в подполье (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,05 м.





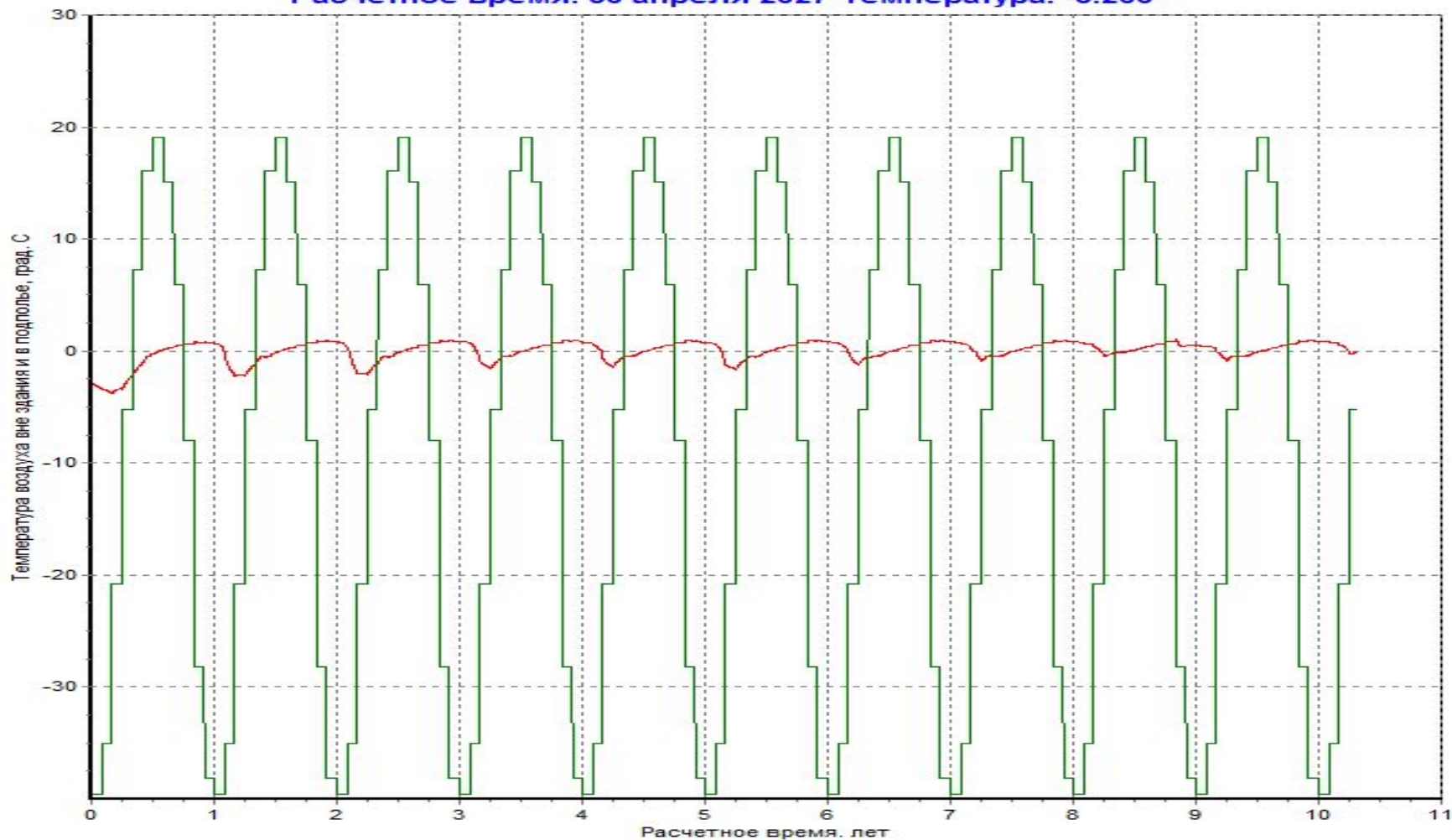
Динамика глубины оттаивания грунтов под зданием (красная линия) и вне здания (зеленая линия) по годам. Толщина теплоизоляции 0,1 м.

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;

$\gamma_n$ ,  $\gamma_e$  – удельные веса соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м<sup>3</sup>;

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.