

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства»  
(ПГУАС)

# **ОЦЕНКА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Методические указания для самостоятельной работы студентов

Под общей редакцией доктора технических наук,  
профессора Ю.П. Скачкова

Пенза 2014

УДК 692.23:[ 536.2+539.217.3] (075.8)

ББК 38.42.:31.31.я73

О-93

*Методические указания подготовлены в рамках проекта  
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки  
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»  
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –  
«Кадры для регионов»)*

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – главный конструктор ООО «Граждан-  
проект» В.Г. Перминов

**Оценка** тепловлажностного состояния наружных ограждающих конструкций: методические указания для самостоятельной работы студентов / О.Л. Викторова, Л.Н. Петрянина, С.В. Зворыгина; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 44 с.

Рассмотрены вопросы по оценке тепловлажностного состояния наружных ограждающих конструкций здания, согласно новых требований по тепловой защите объектов, которые соответствуют международному стандарту. Приведены методика и примеры по расчетам тепловлажностного состояния различных видов ограждающих конструкций

Методические указания направлены на самостоятельное овладение методикой по расчетам: теплотехнического, на воздухо- и паропроницаемость и проверке на возможность образования конденсата наружных ограждающих конструкций жилых и общественных зданий.

Методические указания подготовлены на кафедре «Городское строительство и архитектура» и базовой кафедре ПГУАС при ООО «Гражданпроект» и предназначены для слушателей повышения квалификации по программе «Инновационное архитектурно-строительное проектирование».

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2014

© Викторова О.Л., Петрянина Л.Н.,  
Зворыгина С.В., 2014

## Введение

В данных методических указаниях систематизированы все расчеты по определению толщины утеплителя, воздухопроницаемости, паропроницаемости и оценке возможности образования конденсата в толще наружной стены. Без данных расчетов невозможно принять правильного конструктивного решения ограждающих конструкций исходя из требований СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

При рассмотрении вопроса по утеплению наружных стен возникает задача по выбору наиболее благоприятного (правильного) решения из ряда существующих современных технологий. При рассмотрении этого вопроса необходимо провести некоторые расчеты, позволяющие не только рассчитать толщину утеплителя, но и оценить предложенное решение и с точки зрения его влажностного состояния. Именно этот вопрос будет особенно важен при дальнейшей эксплуатации объекта. Так как возможное образование конденсата, возникающее на границе слоев утепленной конструкции, может существенно повлиять на теплозащитные свойства материалов всей конструкции, и что самое важное, через несколько лет эксплуатации - на несущую способность конструктивного слоя. Этот момент важно предусмотреть уже на стадии проектирования и составлении проектной документации.

# 1. МЕТОДИКИ ПО РАСЧЕТАМ: ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО, НА ВОЗДУХО- И ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ И ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

## 1.1. Методика выполнения теплотехнического расчета наружной ограждающей конструкции

Согласно задания выполняется теплотехнический расчет ограждающей конструкции

Город строительства

Тип здания

Тип ограждающей конструкции

Высота здания

Состав ограждающей конструкции представляется в табличной форме (табл. 3.1).

Т а б л и ц а 3.1

№п/п	Вид материала конструкции с указанием объемного веса материала	Толщина конструктивного слоя
1	2	3
1	Слой 1	$\delta_1$
2	Слой 2	$\delta_2$
3	Слой 3	$\delta_3$
4	Слой 4	$\delta_4$

### *Дополнительные исходные данные:*

- расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{int}, ^\circ\text{C};$
- расчетная влажность внутреннего воздуха  $w_v, \%;$

### 1.1.2. Определение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и температурного перепада между температурой внутри помещения и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции

#### *Определяемые и рассчитываемые параметры:*

- влажностный режим помещения [4, табл. 1]
- условия эксплуатации ограждающих конструкций [4, табл. 2] *A* или *B*;
- коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху [4, табл. 6] *n*;

- коэффициент теплотехнической однородности [4, п.8.17]  $r$ ;
- расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая согласно ГОСТ 12.1.005–88 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений (задание на проектирование)  $t_{int}$ , °C;
- расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [2, табл. 1]  $t_{ext}$ , °C;
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [4, табл. 7]  $\alpha_{int}$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [5, табл. 8]  $\alpha_{ext}$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C);
- расчетный коэффициент теплопроводности материала первого слоя [5, прил. Д]  $\lambda_1$  Вт/(м·°C);
- расчетный коэффициент теплопроводности материала второго слоя [5, прил. Д]  $\lambda_2$  Вт/(м·°C);
- расчетный коэффициент теплопроводности материала третьего слоя [5, прил. Д]  $\lambda_3$  Вт/(м·°C);
- расчетный коэффициент теплопроводности материала четвертого слоя [5, прил. Д]  $\lambda_4$  Вт/(м·°C);
- упругость водяного пара начала конденсации влаги внутри помещения  $E_B$  кПа;
- упругость водяного пара внутри помещения  $e_B = E_B \cdot w_B$  (кПа);
- температура точки росы в помещении при имеющемся парциальном давлении  $t_p$ , °C;
- нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции [4, табл. 5]  $\Delta t_n$ , °C;
- требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из санитарно-гигиенических и комфортных условий

$$R_{red} = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}} \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)};$$

- длительность отопительного периода [2, табл. 1]  $z_{ht}$ , сут;
- средняя температура отопительного периода наружного воздуха за отопительный период [2, табл. 1]  $t_{ht}$ , °C;
- градусо-сутки отопительного периода
 
$$\text{ГСОП}(D_d) = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht};$$
- определяется нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из условий энергосбережения [3, табл. 4]  $R_{reg}$  (м<sup>2</sup>·°C/Вт);

- для величин  $D_d$  отличающихся от табличных значения нормируемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции ( $R_{reg}$ ) следует определять по формуле

$$R_{reg} = a \cdot D_d + b,$$

где  $a, b$  – коэффициенты, значения которых следует определять по табл.4 [3] для соответствующих групп зданий.

- определяется фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0 = r \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_{bi}} + \frac{1}{\alpha_{ext}} \right)$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ );

- расчетный температурный перепад между температурой внутри помещения и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции:

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{R_0 \cdot \alpha_{int}} \text{ (°C)};$$

**Вывод:**

Если фактическое сопротивление теплопередаче больше требуемого:  $R_0$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ )  $>$   $R_{reg}$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ) и расчетный температурный перепад меньше нормируемого  $\Delta t_0 < \Delta t_n$  (°C) – стена удовлетворяет требованиям тепловой защиты здания.

### 1.1.3. Определение сопротивления воздухопроницанию ограждающих конструкций

**Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций [4, табл. 11]  $G^H = 0,5 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;
- сопротивление воздухопроницанию первого слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{inf1}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
- сопротивление воздухопроницанию второго слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{inf2}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
- сопротивление воздухопроницанию третьего слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{inf3}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
- сопротивление воздухопроницанию четвертого слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{inf4}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
- максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более [2, прил. 4]  $v=5,600 \text{ м} / \text{с}$ ;
- удельный вес внутреннего воздуха, определяемый по формуле

$$\gamma_{iht} = \frac{3463}{273 + t_{int}} \text{ (Н/м}^3\text{)};$$

- удельный вес наружного воздуха, Н/м<sup>3</sup>, определяемый по формуле

$$\gamma_{ext} = \frac{3463}{273 + t_{ext}} \text{ (Н/м}^3\text{)};$$

- разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций  $\Delta p = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_{ext} - \gamma_{int}) + 0,03 \cdot \gamma_{ext} \cdot v^2$  (Па);
- требуемое сопротивление конструкции воздухопроницанию

$$R_{inf}^{reg} = \frac{\Delta p}{G^H} \text{ (Н/м}^3\text{)};$$

- фактическое сопротивление конструкции воздухопроницанию

$$R_{inf}^{des} = \sum_i R_{inf_i} \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па / кг)}.$$

**Вывод:**

Если фактическое сопротивление воздухопроницанию больше требуемого:

$R_{inf}^{des} = \text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт} > R_{inf}^{reg} = \text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$  – воздухопроницаемость обеспечена, конструкция не требует дополнительных мероприятий.

#### 1.1.4. Определение сопротивления паропрооницанию ограждающих конструкций

**Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала первого слоя [5, прил. Д]  $\mu_1$  мг/(м·ч·Па);
- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала второго слоя [5, прил. Д]  $\mu_2$  мг/(м·ч·Па);
- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала третьего слоя [5, прил. Д]  $\mu_3$  мг/(м·ч·Па);
- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала четвертого слоя [5, прил. Д]  $\mu_4$  мг/(м·ч·Па);
- средняя упругость водяного пара наружного воздуха за годовой период определяется по формуле

$$e_{ext} = (\varphi_{ext}/100) E_{ex}, \text{ (Па)};$$

где  $\varphi_{ext}$  – средняя относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца [2, табл. 1];

- продолжительность, периода влагонакопления [2, табл.1]  $z_0$  суток;
- средняя температура наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами  $t_0$ , °С;

- упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами  $E_0$ , кПа;

- плотность материала увлажняемого слоя [1, прил. 3\*] или [5, прил. Д]  $\gamma_w$  кг/м<sup>3</sup>;

- толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции принимаемая равной 2/3 толщины однородной стены или толщине теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции  $\delta_w$  (м);

- предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления [1, табл. 14\*] или [4, табл.12]  $\Delta w_{cp}$ , %;

- продолжительность зимнего периода [2, табл. 1]  $z_1$ ;

- средняя температура наружного воздуха зимнего периода [2, табл. 1]  $t_1$  (°C);

- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха зимнего периода  $E_1$  (кПа);

- продолжительность весенне-осеннего периода (относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус 5 до плюс 5°C) [2, табл. 3]  $z_2$  (мес.);

- ср. температура наружного воздуха весенне-осеннего периода [2, табл. 3]  $t_2$  (°C);

- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха летнего периода  $E_2$  (кПа);

- продолжительность летнего периода (относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха выше плюс 5°C) [2, табл. 3]  $z_3$  (мес.);

- средняя температура наружного воздуха летнего периода [2, табл. 3]  $t_3$  (°C);

- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха летнего периода  $E_3$  кПа;

- упругость водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации определяется по формуле

$$E = \frac{1}{12}(E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) \text{ кПа};$$

- ср. температура наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами [2, табл. 3]  $t_0^{ext}$  (°C);



- средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами [2, прил. 3]  $e_0^{ext}$  (Па);

- сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между ее наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации  $R_{vp}^e$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ );

- коэффициент, определяемый по формуле

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_0 - e_0^{ext}) \cdot z_0}{R_{vp}^e};$$

- определяется требуемое сопротивление паропрооницанию (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации)

$$R_{vp.1}^{reg} = \frac{(e_{int} - E) \cdot R_{vp}^e}{E - e_{ext}} \text{ (м}^2 \cdot \text{ч Па/кг)};$$

- определяется требуемое сопротивление паропрооницанию (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха)

$$R_{vp2}^{reg} = \frac{0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_{ext} - E_0)}{\gamma_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta} \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг)};$$

- определяется фактическое сопротивление конструкции паропрооницанию

$$R_n = \sum_i \frac{\delta_i}{\mu_i} \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг)}.$$

**Вывод:**

Если фактическое сопротивление паропрооницанию больше требуемого:  $R_n \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)} > R_{vp2}^{reg} \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}$ , то пароизоляция стены обеспечена.

**1.1.5. Оценка возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции в зимнее время года**

Для оценки возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции и в толще ограждающей конструкции последовательно определяются:

- температура на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции по формуле

$$\tau_x = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot \sum_{x-1} \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_x \right)$$

где  $\sum_{x-1} \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_x \right)$  – сумма термических сопротивлений предыдущих конструктивных слоев конструкции относительно рассматриваемого сечения;

- фактическую упругость водяного пара на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции по формуле

$$e_x = e_{\text{int}} - \frac{e_{\text{int}} - e_{\text{ext}}}{R_{\text{п}}} \cdot \sum_{x-1} R_{n-1};$$

где  $\sum_{x-1} R_{n-1}$  – сумма упругостей водяного пара предыдущих конструктивных слоев относительно рассматриваемого сечения.

- упругость начала конденсации водяного пара на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции приведена в предыдущем расчете.

Для наглядности вычисления сводятся в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3.2

№ п/п	№ слоя	Сопротивление теплопередаче отдельного слоя, $R_i$	Сопротивление теплопередаче слоев изнутри $R_x$	Сопротивление паропроницанию отдельного слоя $R_n$	Сопротивление паропроницанию всех слоев изнутри	Температура	Парциальное давление	Максимально допустимое парциальное давление
	помещение							
1	изнутри							
2	граница 1-2							
3	граница 2-3							
4	граница 3-4							
	улица							
			$\Sigma=$		$\Sigma=$			

По результатам вычислений строятся графики распределения температуры, упругости водяного пара и максимальной упругости водяного пара по толщине ограждающей конструкции. Делается вывод о возможности образования конденсата в толще конструкции.

**Выводы:**

Пересечение графиков распределения упругости водяного пара по толще наружной ограждающей конструкции с максимальным значением упругости свидетельствует о возможности образования конденсата. В слоистой конструкции вероятность образования конденсата возрастает, и при расположении утеплителя у наружной поверхности ограждающей конструкции зона конденсации смещается к границе слоя утеплителя и отделочного слоя конструкции.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ОДНОСЛОЙНОЙ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

### 2.1. Теплотехнический расчет наружной стены без утепления

Согласно задания требуется выполнить теплотехнический расчет ограждающей конструкции.

***Исходные данные:***

Город строительства

*Пенза*

Тип здания

*Жилое здание*

Тип ограждающей конструкции

*Наружные стены*

Высота здания  
Состав ограждающей конструкции

$H = 20$  м;

Т а б л и ц а 3.3

	Материал слоя	Толщина, м
1	Цементно-песчаный раствор, 1800	0,02
2	Кладка кирпичная из глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе, 1800	0,64
3	Цементно-песчаный раствор, 1800	0,02

**Дополнительные исходные данные:**

- расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{int} = 20$  °С;
- расчетная влажность внутреннего воздуха  $w_B = 55\%$ .

**Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций**

**Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- влажностный режим помещения [4, табл. 1] – нормальный;
- условия эксплуатации ограждающих конструкций [4, табл. 2] А;
- коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху [4, табл. 6]  $n = 1$ ;
- расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая согласно ГОСТ 12.1.005—88 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений (задание на проектирование)  $t_{int} = 20$  °С;
- расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [2, табл. 1]  $t_{ext} = 6$  °С;
- нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции [4, табл. 5]  $\Delta t_n = t_{int} - t_p$
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [4, табл. 7]  $\alpha_{int} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [5, табл. 8]  $\alpha_{ext} = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);
- расчетный коэффициент теплопроводности материала первого слоя [4, прил. Д]  $\lambda_1 = 0,76$  Вт/(м·°С);
- расчетный коэффициент теплопроводности материала второго слоя [4, прил. Д]  $\lambda_2 = 0,7$  Вт/(м·°С);
- расчетный коэффициент теплопроводности материала третьего слоя [4, прил. Д]  $\lambda_3 = 0,76$  Вт/(м·°С);
- упругость водяного пара начала конденсации влаги внутри помещения  $E_6 = 2,339$  кПа

- упругость водяного пара внутри помещения  $e_b = E_b \cdot w_b = 2,339 \cdot 55\% = 1,286$  кПа;
- температура точки росы в помещении имеющемся парциальном давлении  $t_p = 11$  °С;
- нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции  $\Delta t^H = t_b - t_p = 20 - 11 = 4$  °С;
- нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции [4, табл. 5]  $\Delta t_n = 4$  °С;
- требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из санитарно-гигиенических и комфортных условий

$$R_{red} = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}} = \frac{1 \cdot (20 - (6))}{4 \cdot 8,7} = 0,179 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

- длительность отопительного периода [2, табл. 1]  $z_{ht} = 207$  сут;
- средняя температура отопительного периода наружного воздуха за отопительный период [2, табл. 1]  $t_{ht} = -4,5$  °С;
- градусо-сутки отопительного периода

$$\text{ГСОП } (D_d) = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = (20 - (-4,5)) \cdot 207 = 5071,5$$

- определяется нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из условий энергосбережения [3, табл. 4]  $R_{reg}$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ );

для величин  $D_d$  отличающихся от табличных значения нормируемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции ( $R_{reg}$ ) следует определять по формуле

$$R_{reg} = a \cdot D_d + b,$$

где  $a, b$  – коэффициенты, значения которых следует определять по табл4 [3] для соответствующих групп зданий.

Для наружных стен жилых зданий  $a = 0,00035$ ,  $b = 1,4$ .

Тогда  $R_{reg} = 0,00035 \cdot 5071,5 + 1,4 = 3,210$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ ).

Нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из условий энергосбережения  $R_{reg} = 3,210$   $\text{м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ ;

- фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_b} + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_{bi}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,020}{0,76} + \frac{0,640}{0,7} + \frac{0,020}{0,76} + \frac{1}{23} = 1,125 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт};$$

- расчетный температурный перепад между температурой внутри помещения и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции определяется по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0 \cdot \alpha_{\text{int}}} (\text{°C});$$

$$\Delta t_0 = \frac{1 \cdot (20 - (-29))}{1,125 \cdot 8,7} = 5,0 (\text{°C});$$

### **Выводы**

Поскольку фактическое сопротивление теплопередаче больше требуемого:  $R_0 = 1,125 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} < R_{\text{рег}} = 3,210 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  и расчетный температурный перепад меньше нормируемого  $\Delta t_0 < \Delta t_n (\text{°C})$  – стена не удовлетворяет требованиям тепловой защиты здания, требуется утепление.

## **2.2. Сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций**

### **Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций [4, табл. 11]  $G^H = 0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;

- сопротивление воздухопроницанию первого слоя ограждающей конструкции [4, табл. 17]  $R_{\text{inf}1} = 373,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;

- сопротивление воздухопроницанию второго слоя ограждающей конструкции [4, табл. 17]  $R_{\text{inf}2} = 18,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;

- сопротивление воздухопроницанию третьего слоя ограждающей конструкции [4, табл. 17]  $R_{\text{inf}3} = 373,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;

- максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более [2, прил. 4]  $v = 5,600 \text{ м}/\text{с}$ ;

- удельный вес внутреннего воздуха, определяемый по формуле

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{в}}} = \frac{3463}{273 + 20} = 11,819 \text{ Н}/\text{м}^3;$$

- удельный вес наружного воздуха,  $\text{Н}/\text{м}^3$ , определяемый по формуле

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{н}}} = \frac{3463}{273 + (6)} = 12,412 \text{ Н}/\text{м}^3;$$

- разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций

$$\Delta p = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot v^2 =$$

$$= 0,55 \cdot 54 \cdot (12,412 - 11,819) + 0,03 \times 12,412 \cdot 5,600^2 = 29,292 \text{ Па};$$

- требуемое сопротивление конструкции воздухопроницанию

$$R_{\text{inf}}^{\text{рег}} = \frac{\Delta p}{G^H} = \frac{29,292}{0,5} = 58,583 \text{ Н}/\text{м}^3;$$

- фактическое сопротивление конструкции воздухопроницанию

$$R_{\text{inf}}^{\text{des}} = \sum_i R_{\text{inf}_i} = 373,00 + 18,00 + 373,00 + 0,00 + 0,00 = 764 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

**Вывод:**

Поскольку фактическое сопротивление воздухопроницанию Источник требуемого:  $R_{\text{inf}} = 764 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$  Источник  $R_{\text{inf}}^{\text{des}} = 58,583 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$  – стена отвечает требования воздухопроницаемости.

### 2.3. Сопротивление паропроницанию ограждающих конструкций

**Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- расчетный коэффициент паропроницаемости материала первого слоя [4, прил. Д]  $\mu_1 = 0,09 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропроницаемости материала второго слоя [4, прил. Д]  $\mu_2 = 0,1100 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропроницаемости материала третьего слоя [4, прил. Д]  $\mu_3 = 0,09 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- средняя упругость водяного пара наружного воздуха за годовой период [2, прил. 3]  $e_{\text{ext}} = 0,740 \text{ Па}$ ;
- продолжительность, периода влагонакопления [2, прил. 3]  $z_0 = 154$  суток;
- средняя температура наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами  $t_0 = -8,440 \text{ °C}$ ;
- упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами  $E_0 = 0,831 \text{ кПа}$ ;
- плотность материала увлажняемого слоя [1, прил. 3\*] или [4, прил. Д]  $\gamma_w = 1800 \text{ кг} / \text{м}^3$ ;
- толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимаемая равной 2/3 толщины однородной стены или толщине теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции  $\delta_w = 0,427 \text{ м}$ ;
- предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления [1, табл. 14\*]  $\Delta w_{\text{ср}} = 15,00 \%$ ;
- продолжительность зимнего периода [2, табл. 1]  $z_1 = 4$  мес;
- средняя температура наружного воздуха зимнего периода [2, табл. 1]  $t_1 = -9,70 \text{ °C}$ ;
- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха зимнего периода  $E_1 = 0,812 \text{ кПа}$ ;

- продолжительность весенне-осеннего периода [2, табл. 1]  $z_2 = 3$  мес.;
- ср. температура наружного воздуха весенне-осеннего периода [2, табл. 1]  $t_2 = 1,80$  °С;
- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха летнего периода  $E_2 = 1,116$  кПа;
- продолжительность летнего периода [2, табл. 1]  $z_3 = 5,00$  мес.;
- средняя температура наружного воздуха летнего периода [2, табл. 1]  $t_3 = 16,14$  °С;
- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха летнего периода  $E_3 = 1,944$  кПа;
- упругость водяного пара. Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации

$$E = \frac{1}{12}(E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) = \frac{1}{12} \cdot (0,812 \cdot 4 + 1,116 \cdot 3 + 1,944 \cdot 5,00) = 1,360 \text{ кПа};$$

- ср. температура наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами [2, табл. 1]  $t_{н.0} = -8,440$  °С;
- средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами [2, прил. 3]  $e_{н.0} = 0,324$  Па;
- сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между ее наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации  $R_{п.н} = 2,162$  м<sup>2</sup>·ч·Па /кг;

- коэффициент

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_0 - e_{0.}^{ext}) \cdot z_0}{R_{vp}^e} = \frac{0,024 \cdot (0,831 - 0,324) \cdot 154 \cdot 1000}{2,162} = 86,631;$$

- требуемое сопротивление паропрооницанию (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации)

$$R_{vp.1}^{reg} = \frac{(e_{int} - E) \cdot R_{vp}^e}{E - e_{ext}} = \frac{(1,286 - 1,360)}{1,360 - 0,740} = -0,256 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \text{ Па/мг};$$

- требуемое сопротивление паропрооницанию (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха)

$$R_{vp.2}^{reg} = \frac{0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_{ext} - E_0)}{\gamma_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta} = \frac{0,0024 \cdot 154 \cdot (1,286 - 0,831) \cdot 1000}{1800 \cdot 0,427 \cdot 15,00 + 86,631} = 0,015 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$



- фактическое сопротивление конструкции паропрооницанию

$$R_n = \sum_i \frac{\delta_i}{\mu_i} = \frac{0,020}{0,09} + \frac{0,640}{0,1100} + \frac{0,020}{0,09} = 6,263 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

**Вывод:**

Поскольку фактическое сопротивление паропрооницанию больше требуемого:  $R_n = 6,263 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} > R_{vp2}^{reg} = 0,015 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$  – пароизоляция стены обеспечена.

## 2.4. Оценка возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции в зимнее время года

Для оценки возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции последовательно определяются:

- температуру на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции по формуле

$$\tau_x = t_{int} - \frac{t_{int} - t_{ext}}{R_0} \cdot \sum_{x-1} \left( \frac{1}{\alpha_{int}} + R_x \right);$$

- фактическую упругость водяного пара на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции по формуле

$$e_x = e_s - \frac{e_s - e_n}{R_n} \cdot \sum_{x-1} R_n;$$

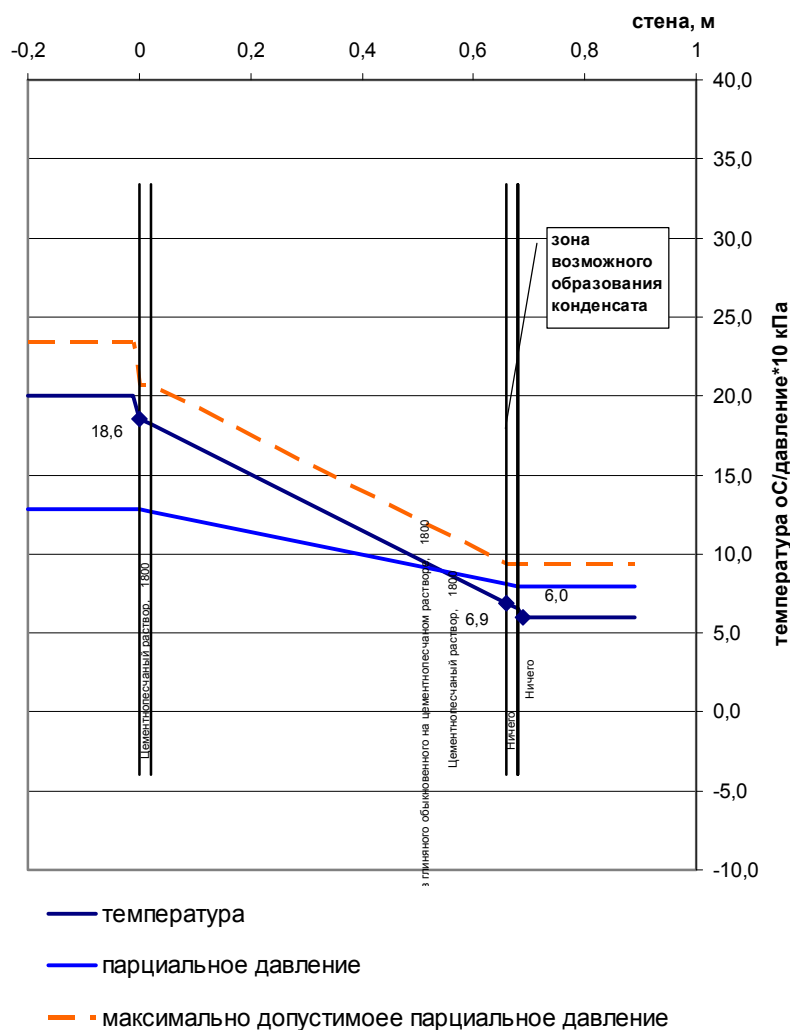
- упругость начала конденсации водяного пара на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции [3, табл. V.1].

Для наглядности вычисления сводятся в таблицу. По результатам вычислений строятся графики распределения по стене температуры, упругости водяного пара и упругости начала конденсации водяного пара.

Таблица 3.6

№ п/п	№ слоя	Сопротивление теплопередаче отдельного слоя, $R_i$	Сопротивление теплопередаче слоев изнутри наружу $R_x$	Сопротивление теплопередаче слоя $R_p$	Сопротивление паропроницанию всех слоев внутри $\Sigma R$	Температура	Парциальное давление	Максимально допустимое парциальное давление
						20,0	12,863	23,387
	помещение					20,0	12,863	23,387
1	изнутри	0,115	0,115	0,000	0,000	18,570	12,863	20,640
2	граница 1-2	0,026	0,141	0,222	0,222	18,243	12,688	20,640
3	граница 2-3	0,914	1,056	5,818	6,040	6,868	8,119	9,347
4	граница 3-4	0,026	1,082	0,222	6,263	6,541	7,945	9,347
	улица	0,043	1,125	0,000	6,263	6,0	7,945	9,347
						6,0	7,945	9,347
		$\Sigma=$ 1,125		$\Sigma=$ 6,263				

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОЛЩЕ КОНСТРУКЦИИ



### **Вывод:**

Анализ распределения линий парциального давления по стене показывает, что при заданных температурно-влажностных условиях и параметрах ограждающей конструкции в холодное время года на внутренней поверхности и внутри стены не будет образовываться конденсат.

### **Общий вывод:**

Исследование тепловлажностного состояния наружной стены однородной конструкции показало, что данное конструктивное решение наружной стены не отвечает требованиям тепловой защиты зданий, так как общее сопротивление теплопередачи конструкции значительно ниже требуемого нормируемого сопротивления теплопередачи с учетом энергосбережения. Хотя требованиям по воздухо- и паропроницаемости однородная конструкция соответствует нормативным требованиям. Поэтому необходимо в Пензенской области при проектировании и реконструкции объектов принимать конструктивное решение наружных стен с утепляющим слоем.

### 3. ВАРИАНТЫ УТЕПЛЕНИЯ СТЕН, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СОВРЕМЕННОЙ ПРАКТИКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

В практике устройства дополнительной теплозащиты стен существует два способа основных способа ее расположения: с наружной или внутренней стороны стены. Иногда встречается конструктивно-технологическое решение устройства теплозащиты зданий с расположением утеплителя с наружной и внутренней стороны стены одновременно.

Конкретный вариант расположения теплозащиты устанавливается на основе анализа всех возможных способов ее устройства с учетом их достоинств и недостатков.

Вариант с расположением теплоизоляционного материала на внутренней поверхности стены обладает следующими достоинствами:

- теплоизоляционный материал, как правило, не имеющий достаточной способности к сопротивлению воздействиям внешней среды, находится в благоприятных условиях и не требуется его дополнительная защита;
- производство работ по устройству теплозащиты может идти в любое время года независимо от способа крепления. При этом не требуется применение дорогостоящих средств подмащивания.

К недостаткам расположения теплозащиты со стороны помещения относятся:

- уменьшение площади помещения за счет увеличения толщины стены;
- Необходимость устройства, с целью выпадения конденсата, дополнительной теплозащиты в местах опираний на стены плит перекрытий и в местах примыкания к наружным стенам внутренних стен и перегородок;
- необходимость защиты теплоизоляционного материала и стены от увлажнения путем устройства пароизоляционного слоя перед теплоизоляционным материалом;
- расположение хорошо аккумулирующего тепло материала стены в зоне низких температур, что в значительной мере снижает тепловую инерцию ограждения;
- необходимость отселения жильцов;
- сложность устройства теплоизоляции в местах расположения приборов отопления.

Вариант расположения теплозащиты с наружной стороны стены обладает существенными достоинствами. К ним относятся:

- создание защитной термооболочки, исключающей образование «мостиков холода»;
- исключение необходимости устройства пароизоляционного слоя;
- возможность защитить стыки крупнопанельных зданий от протечек;
- создание нового архитектурно-художественного облика здания;

- возможность одновременно с устройством теплоизоляции исправить дефекты стены;
- расположение хорошо аккумулируемого тепло материала в зоне положительных температур. Это повышает тепловую инерцию ограждения и способствует улучшению ее теплоизоляционных качеств при нестационарной теплопередаче;
- при устройстве теплоизоляции с наружной стороны стены не уменьшается площадь помещений.

Существенными недостатками этого варианта является необходимость устройства по теплоизоляции надежного защитного слоя, а также использование при выполнении работ дорогостоящих средств подмащивания.

Дополнительная теплозащита должна отвечать конструктивным, технологическим и эстетическим требованиям.

В первую очередь конструкция теплозащиты должна быть долговечной и надежной. Долговечность определяется сроком службы. Для ее достижения необходимо, чтобы защищающая конструкция была устойчивой к длительному воздействию температур, химически и биологически стойкой. При расположении теплозащиты с наружной стороны стены она должна быть морозостойкой. Для достижения надежности защищающих конструкций необходимо, чтобы они были огнестойкими, ограничивали или не допускали попадания влаги внутрь конструкции.

Для достижения технологических требований конструкция дополнительной теплозащиты должна быть: индустриальной (иметь высокий уровень заводской готовности) транспортабельной; простой в монтаже; ремонтнопригодной (возможность замены элементов теплоизоляции без больших затрат времени и рабочей силы).

Теплозащита стен здания будет удовлетворять эстетическим требованиям, если она вписывается в окружающую застройку, интерьер и имеет архитектурно-художественную выразительность.

### **Обоснование принятого материала утеплителя**

В строительной практике применяются разнообразные теплоизоляционные материалы к основным из них относятся: легкие бетоны (керамзитобетон, перлитобетон, шлакобетон, пенобетон); «теплые растворы» (цементно-перлитовый, гипсоперлитовый, поризованный); изделия из дерева; минераловатные и стекловолоконные материалы, полимерные материалы (пенополистирол, пенопласт, пенополиуретан, пелитопластбетон), а также другие композиционные материалы и изделия. Использование конкретного материала для теплозащиты стен зависит от целого ряда факторов, определяющими из которых являются: долговечность, требуемая толщина слоя теплоизоляции; возможное место расположения материала на стене, масса теплоизоляционной конструкции; трудоемкость устройства, возможность поставки материала на строительную площадку.

В настоящее время наиболее эффективными при устройстве дополнительной теплоизоляции являются полимерные материалы и изделия из минеральной ваты. При устройстве теплоизоляции из этих материалов, масса всех конструкций теплозащиты будет наименьшей. В последнее время появились зарубежные высококачественные теплоизоляционные материалы. Например, немецкая фирма «KNAUF» предлагает широкий выбор пенопластов, пенополистиролов; концерны «ISOVER» и «AHLSTROM» предлагают широкий выбор минераловатных плит, датская фирма «ROCKWOOL» – теплоизоляционную вату на каменной основе.

Выбор конкретного теплоизоляционного материала производится с учетом многих факторов, основными из которых являются отпускная стоимость, эксплуатационная стоимость и трудоемкость монтажа. Установлено, что для теплоизоляционных материалов наблюдается тенденция увеличения стоимости квадратного метра утепляемой стены с увеличением плотности и прочности теплоизоляционного материала. Использование теплоизоляционных материалов имеющих наибольшие прочностные характеристики приводят к увеличению срока службы теплозащиты.

Одним из важных показателей при выборе теплоизоляционного материала являются его противопожарные свойства. Известно, что новое поколение пенополистиролов и пенополиуретанов относится к самозатухающим материалам, но их применение ограничивается тем, что максимальная температура, которой они могут подвергаться в течение нескольких минут, равна 95°C, после чего они теряют свои эксплуатационные качества. В связи с этим при утеплении стен листами из пенополистирола, расположенными с наружной стороны стены, вокруг окон необходимо монтировать ряд листов из минераловатных плит, так как она относятся к трудногоряемым материалам. Это делается для защиты пенополистирола от открытого пламени, которое может вырваться во время пожара из окон. В качестве теплоизоляционного материала иногда используют пенополиуретан. Поэтому необходимо отметить, что данный материал имеет закрытоячеистую структуру и эффективное его использование возможно только с внутренней стороны стены (в данном случае пароизоляция не нужна). При размещении пенополиуретана с наружной стороны во время эксплуатации в утепляемой стене будет накапливаться влага, которая не сможет удаляться, это повлечет за собой ухудшение эксплуатационных качеств стены и быстрое ее разрушение.

Из вышеуказанного следует, что для **утепления стен наиболее целесообразно применять теплоизоляционные плиты из пенополистирола, минеральной ваты и стекловолокна.** Толщина утеплителя определяется расчетом, но в среднем по стране она колеблется от 50 до 150 мм. Защитно-декоративный слой может выполняться в виде послойного нанесения

цементных, полимерных составов или клеевого крепления облицовочных панелей из природного камня, бетона, полимеров, дерева.

### **Технические решения теплозащиты здания**

Технические решения теплозащиты в целом могут быть классифицированы по трем основным признакам: по месту размещения, по виду материала утеплителя, по виду материала защитного слоя. В свою очередь, устройство утеплителя может осуществляться с воздушной прослойкой и без нее.

Толщина дополнительного теплоизоляционного слоя определяется теплотехническим расчетом. При устройстве дополнительной теплоизоляции наружных стен эффективными теплоизоляционными материалами необходимо выполнять проверку конструкции стены на воздухо- и паропроницаемость, во избежание образования конденсата на границе конструктивных слоев.

## 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ С УТЕПЛЕНИЕМ

### 4.1. Теплотехнический расчет наружной стены жилого здания (вариант при толщине стены 640)

Согласно задания требуется выполнить теплотехнический расчет ограждающей конструкции

#### **Исходные данные:**

Город строительства	Пенза
Тип здания	Жилое здание
Тип ограждающей конструкции	Наружные стены
Высота здания	$H = 20$ м
Состав ограждающей конструкции	

Т а б л и ц а 3.7

	Материал слоя	Толщина, м
1	Цементно-песчаный раствор, 1800	0,02
2	Кладка кирпичная из силикатного (ГОСТ 379-79) на цементно-песчаном растворе, 1800	0,64
3	Пенополистирол, 100	0,15
4	Цементно-песчаный раствор, 1800	0,02

#### **Дополнительные исходные данные:**

- расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{int} = 20$  °С;
- расчетная влажность внутреннего воздуха  $w_B = 55\%$ ;

#### **Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции и расчетный температурный перепад**

#### **Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- влажностный режим помещения [4, табл. 1] – нормальный;
- условия эксплуатации ограждающих конструкций [4, табл. 2]  $A$ ;
- коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху [4, табл. 6]  $n = 1$ ;
- коэффициент теплотехнической однородности [4, п.8.17]  $r = 0,69$ ;



- расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая согласно ГОСТ 12.1.005–88 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений (задание на проектирование)  $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [2, табл. 1]  $t_{ext} = -29 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [4, табл. 7]  $\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;
- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [5, табл. 8]  $\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;
- расчетный коэффициент теплопроводности материала первого слоя [5, прил. Д]  $\lambda_1 = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;
- расчетный коэффициент теплопроводности материала второго слоя [5, прил. Д]  $\lambda_2 = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;
- расчетный коэффициент теплопроводности материала третьего слоя [5, прил. Д]  $\lambda_3 = 0,041 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;
- расчетный коэффициент теплопроводности материала четвертого слоя [5, прил. Д]  $\lambda_4 = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;
- упругость водяного пара начала конденсации влаги внутри помещения  $E_B = 2,339 \text{ кПа}$ ;
- упругость водяного пара внутри помещения

$$e_B = E_B \cdot w_B = 2,339 \cdot 55\% = 1,286 \text{ кПа};$$

- температура точки росы в помещении имеющемся парциальном давлении  $t_p = 11 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции [4, табл. 5]  $\Delta t_n = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из санитарно-гигиенических и комфортных условий

$$R_{red} = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}} = \frac{1 \cdot (20 - (-29))}{4 \cdot 8,7} = 0,626 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

- длительность отопительного периода [2, табл. 1]  $z_{ht} = 207 \text{ сут}$ ;
- средняя температура отопительного периода наружного воздуха за отопительный период [2, табл. 1]  $t_{ht} = -4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- градусо-сутки отопительного периода

$$\text{ГСОП}(D_d) = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = (20 - (-4,5)) \cdot 207 = 5071,5$$

- нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из условий энергосбережения  $R_{reg} = 3,175 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

- фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции

$$R_0 = r \cdot \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{в}i}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} \right) =$$

$$= r = 0,69 \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,020}{0,76} + \frac{0,640}{0,76} + \frac{0,150}{0,041} + \frac{0,020}{0,76} + \frac{1}{23} \right) = 3,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- расчетный температурный перепад между температурой внутри помещения и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции:

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0 \cdot \alpha_{\text{int}}} = \frac{1 \cdot (20 - (-29))}{3,25 \cdot 8,7} = 1,73 \text{ °C};$$

### **Вывод:**

Поскольку фактическое сопротивление теплопередаче больше требуемого:  $R_0 = 3,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} > R_{\text{рег}} = 3,175 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  и расчетный температурный перепад меньше нормируемого  $\Delta t_0 = 1,73 \cdot \text{°C} < \Delta t_n = 4,0 \cdot \text{°C}$  – стена удовлетворяет требованиям тепловой защиты здания.

## 4.2. Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций

### **Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций [4, табл. 11]  $G^H = 0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;
- сопротивление воздухопроницанию первого слоя ограждающей конструкции [4, табл.17]  $R_{\text{inf}1} = 373,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
- сопротивление воздухопроницанию второго слоя ограждающей конструкции [[4, табл.17]  $R_{\text{inf}2} = 9,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
- сопротивление воздухопроницанию третьего слоя ограждающей конструкции [4, табл.17]  $R_{\text{inf}3} = 79,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
- сопротивление воздухопроницанию четвертого слоя ограждающей конструкции [4, табл.17]  $R_{\text{inf}4} = 373,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$
- максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более [2, прил. 4]  $v = 5,600 \text{ м}/\text{с}$ ;
- удельный вес внутреннего воздуха, определяемый по формуле

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{в}}} = \frac{3463}{273 + 20} = 11,819 \text{ Н/м}^3;$$

- удельный вес наружного воздуха,  $\text{Н/м}^3$ , определяемый по формуле

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{н}}} = \frac{3463}{273 + (-29)} = 14,193 \text{ Н/м}^3;$$

- разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций

$$\Delta p = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot v^2 =$$

$$0,55 \cdot 44 \cdot (14,193 - 11,819) + 0,03 \times 14,193 \cdot 5,600^2 = 70,791 \text{ Па};$$

- требуемое сопротивление конструкции воздухопроницанию

$$R_u^{\text{тр}} = \frac{\Delta p}{G^{\text{н}}} = \frac{70,791}{0,5} = 141,583 \text{ Н/м}^3;$$

- фактическое сопротивление конструкции воздухопроницанию

$$R_u = \sum_i R_{u_i} = 373,00 + 9,00 + 79,00 + 373,00 = 834 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

**Выводы:**

Поскольку фактическое сопротивление воздухопроницанию выше требуемого:  $R_u = 834 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг} > R_u^{\text{тр}} = 141,583 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$  – конструкция не требует дополнительных мероприятий.

### 4.3. Сопротивление паропроницанию ограждающих конструкций

**Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- расчетный коэффициент паропроницаемости материала первого слоя [5, прил. Д]  $\mu_1 = 0,09 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропроницаемости материала второго слоя [5, прил. Д]  $\mu_2 = 0,1100 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропроницаемости материала третьего слоя [5, прил. Д]  $\mu_3 = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропроницаемости материала четвертого слоя [5, прил. Д]  $\mu_4 = 0,09 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- средняя упругость водяного пара наружного воздуха за годовой период [2, прил. 3]  $e_{\text{н}} = 0,740 \text{ Па}$ ;

- продолжительность, периода влагонакопления [2, прил. 3]  $z_0 = 154$  суток;

- средняя температура наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами  $t_0 = -8,440$  °С;

- упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами

$$E_0 = 0,284 \text{ кПа};$$

- плотность материала увлажняемого слоя [4, прил. Д]  $\gamma_w = 100$  кг/м<sup>3</sup>;

- толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции принимаемая равной 2/3 толщины однородной стены или толщине теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции

$$\delta_w = 0,150 \text{ м};$$

- предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления [4, табл. 12]  $\Delta w_{\text{ср}} = 15,00$  %;

- продолжительность зимнего периода [2, табл. 1]  $z_1 = 4$  мес.;

- средняя температура наружного воздуха зимнего периода [2, табл. 1]  $t_1 = -9,70$  °С;

- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха зимнего периода

$$E_1 = 0,260 \text{ кПа};$$

- продолжительность весенне-осеннего периода [2, табл. 1]  $z_2 = 3$  мес.;

- ср. температура наружного воздуха весенне-осеннего периода [2, табл. 1]  $t_2 = 1,80$  °С;

- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха летнего периода

$$E_2 = 0,705 \text{ кПа};$$

- продолжительность летнего периода [2, табл. 1]  $z_3 = 5,00$  мес.;

- средняя температура наружного воздуха летнего периода [2, табл. 1]  $t_3 = 16,14$  °С;

- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха летнего периода

$$E_3 = 1,817 \text{ кПа};$$

- упругость водяного пара. Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации

$$E = \frac{1}{12}(E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) = \frac{1}{12} \cdot (0,260 \cdot 4 + 0,705 \cdot 3 + 1,817 \cdot 5,00) = 1,020 \text{ кПа};$$

- ср. температура наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами [2, табл. 1]  $t_{н.0} = -8,440 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами [2, прил. 3]  $e_{н.0} = 0,324 \text{ Па}$ ;

- сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между ее наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации  $R_{п.н} = 0,222 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;

- коэффициент

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_0 - e_{н.0}) \cdot z_0}{R_{п.н}} = \frac{0,0024 \cdot (0,284 - 0,324) \cdot 154 \cdot 1000}{0,222} = -66,529;$$

- требуемое сопротивление паропрооницанию (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации)

$$R_{II.1}^{Tp} = \frac{(e_b - E) \cdot R_{п.н}}{E - e_n} = \frac{(1,286 - 1,020) \cdot 0,222}{1,020 - 0,740} = 0,211 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

- требуемое сопротивление паропрооницанию (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха)

$$R_{II.2}^{Tp} = \frac{0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_b - E_0)}{\gamma_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta} = \frac{0,0024 \cdot 154 \cdot (1,286 - 0,284) \cdot 1000}{100 \cdot 0,150 \cdot 15,00 + -66,529} = 2,338 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

- фактическое сопротивление конструкции паропрооницанию

$$R_n = \sum_i \frac{\delta_i}{\mu_i} = \frac{0,020}{0,09} + \frac{0,640}{0,1100} + \frac{0,150}{0,05} + \frac{0,020}{0,09} = 9,263 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

## Выводы

Поскольку фактическое сопротивление паропроницанию больше требуемого:  $R_u = 9,263 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} > R_u^{\text{Тр}} = 2,338 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  – пароизоляция стены обеспечена.

#### 4.4. Оценка возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции в зимнее время года

Для оценки возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции последовательно определяются:

- температура на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции по формуле

$$t_x = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot \sum_{x-1} \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_x \right);$$

- фактическую упругость водяного пара на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции по формуле

$$e_x = e_b - \frac{e_b - e_n}{R_{\text{п}}} \cdot \sum_{x-1} R_n;$$

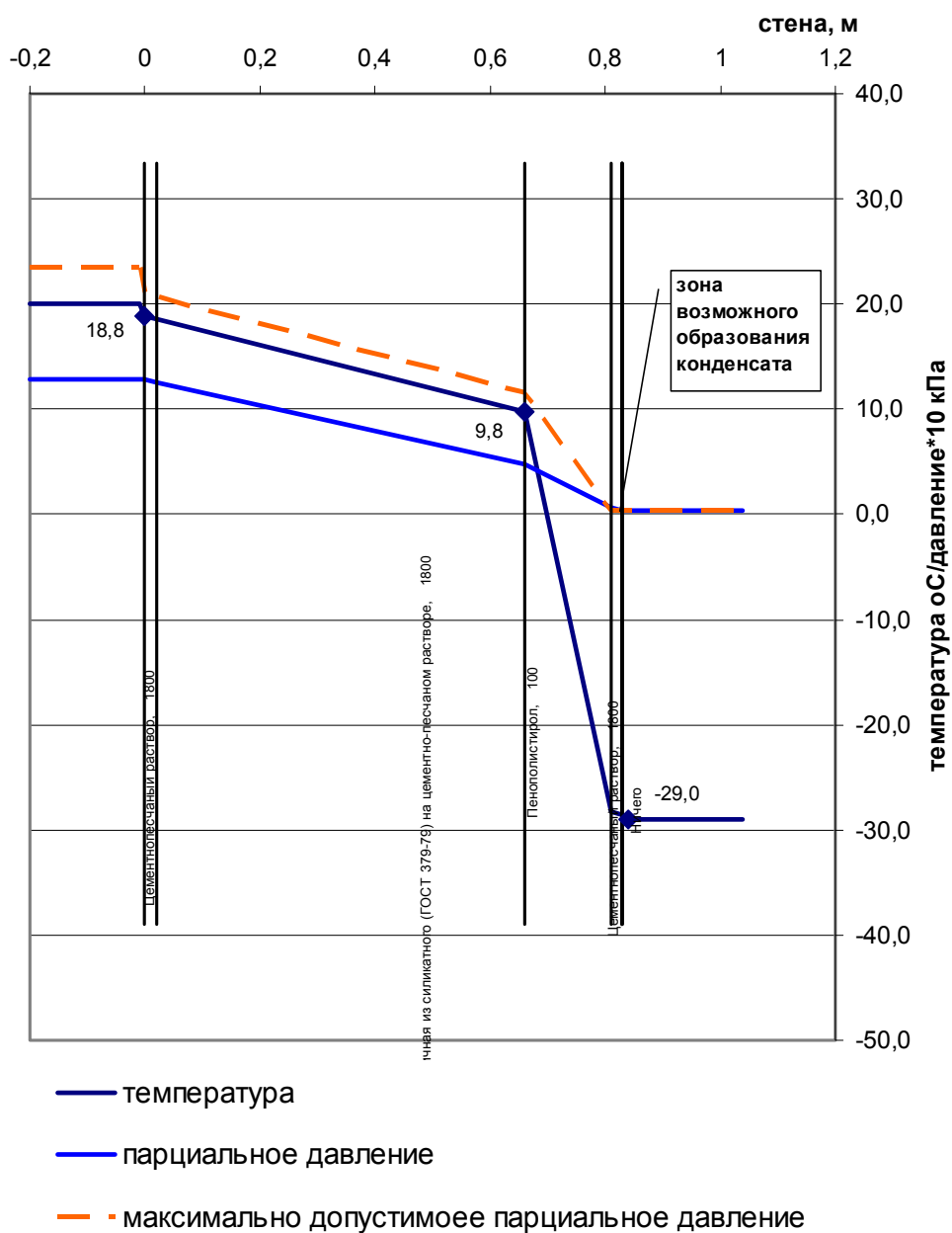
- упругость начала конденсации водяного пара на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции [3, табл. V.1]

Для наглядности вычисления сводятся в таблицу. По результатам вычислений строится графики распределения по стене температуры, упругости водяного пара и упругости начала конденсации водяного пара.

Таблица 3.8

№ п/п	№ слоя	Сопротив- ление тепло- передаче от- дельного слоя, $R_i$	Сопротив- ление теп- лопередаче слоев из- нутри $R_x$	Сопротив- ление па- ропро- ниванию отдельного слоя $R_p$	Сопротив- ление па- ропро- ниванию всех слоев изнутри $\Sigma R$	Темпе- ратура	Парциаль- ное давле- ние	Макси- мально до- пустимое пар- циальное давление
	помещение					20,0	12,863	23,387
1	изнутри	0,115	0,115	0,000	0,000	18,805	12,863	20,640
2	граница 1-2	0,026	0,141	0,222	0,222	18,531	12,562	20,640
3	граница 2-3	0,842	0,983	5,818	6,040	9,773	4,704	11,480
4	граница 3-4	3,659	4,642	3,000	9,040	-28,274	0,651	0,413
5	граница 4-5	0,026	4,668	0,222	9,263	-28,548	0,351	0,413
	улица	0,043	4,712	0,000	9,263	-29,0	0,351	0,413
		$\Sigma=4,712$		$\Sigma=$	9,263			

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОЛЩЕ КОНСТРУКЦИИ



### **Вывод:**

Анализ распределения линий парциального давления по стене показывает, что при заданных температурно-влажностных условиях и параметрах ограждающей конструкции в холодное время года на внутренней поверхности и внутри стены не будет образовываться конденсат, вероятность образования конденсата возрастает только в отделочном штукатурном слое, что не влияет на влажностное состояние всей конструкции.



## 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ (ЧЕРДАК ХОЛОДНЫЙ)

### 5.1. Теплотехнический расчет чердачного перекрытия

Согласно задания требуется выполнить теплотехнический расчет ограждающей конструкции - чердачного перекрытия (холодный чердак)

#### **Исходные данные:**

Город строительства	<i>Пенза;</i>
Тип здания	<i>Жилое здание;</i>
Тип ограждающей конструкции	<i>Перекрытия чердачные с кровлей из рулонных материалов;</i>
Высота здания	<i>H = 20 м;</i>
Состав ограждающей конструкции	

Т а б л и ц а 3.11

	Материал слоя	Толщина, м
1	Железобетон, 2500	0,12 (приведенная)
2	Цементно-песчаный раствор, 1800	0,01
3	Рубероид пергамин толь, 600	0,01
4	Пенополистирол, 100	0,20
5	Цементно-песчаный раствор, 1800	0,05

#### **Дополнительные исходные данные:**

- расчетная температура внутреннего воздуха  $t_v = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- расчетная влажность внутреннего воздуха  $w_v = 55\%$ .

#### **Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции и расчетный температурный перепад**

##### **Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- влажностный режим помещения [4, табл. 1] – нормальный;
- условия эксплуатации ограждающих конструкций [4, табл. 2] А;
- коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху [4, табл. 6]  $n = 0,9$ ;

• расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая согласно ГОСТ 12.1.005–88 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений (задание на проектирование)  $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [2, табл. 1]  $t_{ext} = -29 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [4, табл. 7]  $\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;

- коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций [5, табл. 8]  $\alpha_{ext} = 17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;

- расчетный коэффициент теплопроводности материала первого слоя [5, прил. Д]  $\lambda_1 = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;

- расчетный коэффициент теплопроводности материала второго слоя [5, прил. Д]  $\lambda_2 = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;

- расчетный коэффициент теплопроводности материала третьего слоя [5, прил. Д]  $\lambda_3 = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;

- расчетный коэффициент теплопроводности материала четвертого слоя [5, прил. Д]  $\lambda_4 = 0,041 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;

- расчетный коэффициент теплопроводности материала пятого слоя [5, прил. Д]  $\lambda_5 = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ ;

- упругость водяного пара начала конденсации влаги внутри помещения  $E_B = 2,339 \text{ кПа}$

- упругость водяного пара внутри помещения

$$e_B = E_B \cdot w_B = 2,339 \cdot 55 \% = 1,286 \text{ кПа};$$

- температура точки росы в помещении имеющемся парциальном давлении  $t_p = 11 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции [4, табл. 5]  $\Delta t_n = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из санитарно-гигиенических и комфортных условий

$$R_{red} = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}} = \frac{0,9 \cdot (20 - (-29))}{3 \cdot 8,7} = 0,704 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

- длительность отопительного периода  $z_{ht} = 207 \text{ сут}$ ;

- средняя температура отопительного периода наружного воздуха за отопительный период  $t_{ht} = -4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- градусо-сутки отопительного периода

$$\text{ГСОП}(D_d) = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht} = (20 - (-4,5)) \cdot 207 = 5071,5;$$

- нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции из условий энергосбережения  $R_{reg} = 4,785 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ;

- фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_{\text{в}i}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,120}{1,92} + \frac{0,010}{0,76} + \frac{0,010}{0,17} + \frac{0,200}{0,041} + \frac{0,050}{0,76} + \frac{1}{17} = 5,252 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- расчетный температурный перепад между температурой внутри помещения и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции:

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0 \cdot \alpha_{\text{int}}} = \frac{0,9 \cdot (20 - (-29))}{5,25 \cdot 8,7} = 0,96 \text{ °C}.$$

### **Выводы**

Поскольку фактическое сопротивление теплопередаче больше требуемого:

$R_0 = 5,252 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} < R_{\text{рег}} 4,785 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  и  $\Delta t_0 = 0,96 \cdot \text{°C} < \Delta t_n = 3,0 \cdot \text{°C}$  – теплоизоляция чердачного перекрытия обеспечена.

## **5.2. Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций**

### **Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- табл. 12]  $G^H = 0,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;
- сопротивление воздухопроницанию первого слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{\text{inf1}} = 19620,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$ ;
- сопротивление воздухопроницанию второго слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{\text{inf2}} = 248,67 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;
- сопротивление воздухопроницанию третьего слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{\text{inf3}} = 10000,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;
- сопротивление воздухопроницанию четвертого слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{\text{inf4}} = 79,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;
- сопротивление воздухопроницанию пятого слоя ограждающей конструкции [4, табл17]  $R_{\text{inf5}} = 373,00 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;
- максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более [2, прил. 4]  $v = 5,600 \text{ м}/\text{с}$ ;
- удельный вес внутреннего воздуха, определяемый по формуле

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{3463}{273 + t_{\text{в}}} = \frac{3463}{273 + 20} = 11,819 \text{ Н}/\text{м}^3;$$

- удельный вес наружного воздуха,  $\text{Н/м}^3$ , определяемый по формуле

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 + t_n} = \frac{3463}{273 + (-29)} = 14,193 \text{ Н/м}^3;$$

- разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций

$$\begin{aligned} \Delta p &= 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_n - \gamma_v) + 0,03 \cdot \gamma_n \cdot v^2 = \\ &= 0,55 \cdot 44 \cdot (14,193 - 11,819) + 0,03 \times 14,193 \cdot 5,600^2 = 70,791 \text{ Па}; \end{aligned}$$

- требуемое сопротивление конструкции воздухопроницанию

$$R_{\text{inf}}^{\text{reg}} = \frac{\Delta p}{G^H} = \frac{70,791}{0,5} = 141,583 \text{ Н/м}^3;$$

- фактическое сопротивление конструкции воздухопроницанию

$$\begin{aligned} R_{\text{inf}}^{\text{des}} &= \sum_i R_{\text{inf}i} = 19620,00 + 248,67 + 10000,00 + 79,00 + 373,00 = \\ &= 303,21 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}. \end{aligned}$$

#### **Вывод:**

Поскольку фактическое сопротивление воздухопроницанию выше требуемого:  $R_{\text{inf}}^{\text{des}} = 303,21 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{Вт} > R_{\text{inf}}^{\text{reg}} = 141,583 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{Вт}$  воздухопроницаемость перекрытия обеспечена.

### 5.3. Сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций

#### **Определяемые и рассчитываемые параметры:**

- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала первого слоя [5, прил. Д]  $\mu_1 = 0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала второго слоя [5, прил. Д]  $\mu_2 = 0,0900 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала третьего слоя [5, прил. Д]  $\mu_3 = 0,00165 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала четвертого слоя [5, прил. Д]  $\mu_4 = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- расчетный коэффициент паропрооницаемости материала пятого слоя [5, прил. Д]  $\mu_5 = 0,09 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;
- средняя упругость водяного пара наружного воздуха за годовой период [2, прил. 3]  $e_n = 0,740 \text{ Па}$ ;
- продолжительность, периода влагонакопления [2, прил. 3]  $z_0 = 154 \text{ суток}$ ;

- средняя температура наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами  $t_0 = -8,440 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации при средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами  $E_0 = 0,309 \text{ кПа}$ ;
- плотность материала увлажняемого слоя [1, прил. 3\*]  $\gamma_w = 100 \text{ кг/м}^3$ ;
- толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, принимаемая равной 2/3 толщины однородной стены или толщине теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции  $\delta_w = 0,200 \text{ м}$ ;
- предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления [1, табл. 14\*]  $\Delta w_{\text{ср}} = 15,00 \text{ \%}$ ;
- продолжительность зимнего периода [2, табл. 1]  $z_1 = 4 \text{ мес.}$ ;
- средняя температура наружного воздуха зимнего периода [2, табл. 1]  $t_1 = -9,70 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха зимнего периода  $E_1 = 0,284 \text{ кПа}$ ;
- продолжительность весенне-осеннего периода [2, табл. 1]  $z_2 = 3 \text{ мес.}$ ;
- ср. температура наружного воздуха весенне-осеннего периода [2, табл. 1]  $t_2 = 1,80 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха летнего периода  $E_2 = 0,705 \text{ кПа}$ ;
- продолжительность летнего периода [2, табл. 1]  $z_3 = 5,00 \text{ мес.}$ ;
- средняя температура наружного воздуха летнего периода [2, табл. 1]  $t_3 = 16,14 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- упругость водяного пара, принимаемая по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха летнего периода  $E_3 = 1,817 \text{ кПа}$ ;
- упругость водяного пара. Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации

$$E = \frac{1}{12}(E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3) = \frac{1}{12} \cdot (0,284 \cdot 4 + 0,705 \cdot 3 + 1,817 \cdot 5,00) = 1,028 \text{ кПа};$$

- ср. температура наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами [2, табл. 1]  $t_{\text{н.0}} = -8,440 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- средняя упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами [2, прил. 3]  $e_{\text{н.0}} = 0,324 \text{ Па}$ ;

- сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между ее наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации  $R_{п.н}=0,556 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ;

- коэффициент

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_0 - e_{н.0}) \cdot z_0}{R_{п.н}} = \frac{0,0024 \cdot (0,309 - 0,324) \cdot 154 \cdot 1000}{0,556} = -9,758;$$

- требуемое сопротивление паропроницанию (из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации)

$$R_{п.н}^{Tp} = \frac{(e_e - E) \cdot R_{п.н}}{E - e_n} = \frac{(1,286 - 1,028) \cdot 0,556}{1,028 - 0,740} = 0,497 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

- требуемое сопротивление паропроницанию (из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха)

$$R_{п.н}^{Tp} = \frac{0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_n - E_0)}{\gamma_w \cdot \delta_w \cdot \Delta w_{cp} + \eta} = \frac{0,0024 \cdot 154 \cdot (1,286 - 0,309) \cdot 1000}{100 \cdot 0,200 \cdot 15,00 + -9,758} = 1,244 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

- фактическое сопротивление конструкции паропроницанию

$$R_n = \sum_i \frac{\delta_i}{\mu_i} = \frac{0,120}{0,03} + \frac{0,010}{0,0900} + \frac{0,010}{0,00165} + \frac{0,200}{0,05} + \frac{0,050}{0,09} = 14,727 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

**Вывод:**

Поскольку фактическое сопротивление паропроницанию больше требуемого:  $R_n = 14,727 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг} > R_n^{Tp} = 1,244 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$  – пароизоляция перекрытия обеспечена.

#### 5.4. Оценка возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции в зимнее время года

Для оценки возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции последовательно определяются:

- температура на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции по формуле

$$t_{\text{int}_x} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0} \cdot \sum_{x-1} \left( \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + R_x \right);$$

- фактическую упругость водяного пара на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции по формуле

$$e_x = e_g - \frac{e_b - e_n}{R_{\text{п}}} \cdot \sum_{x-1} R_n;$$

- упругость начала конденсации водяного пара на внутренней и внешней поверхности и на границах всех слоев ограждающей конструкции [3, табл. V.1]

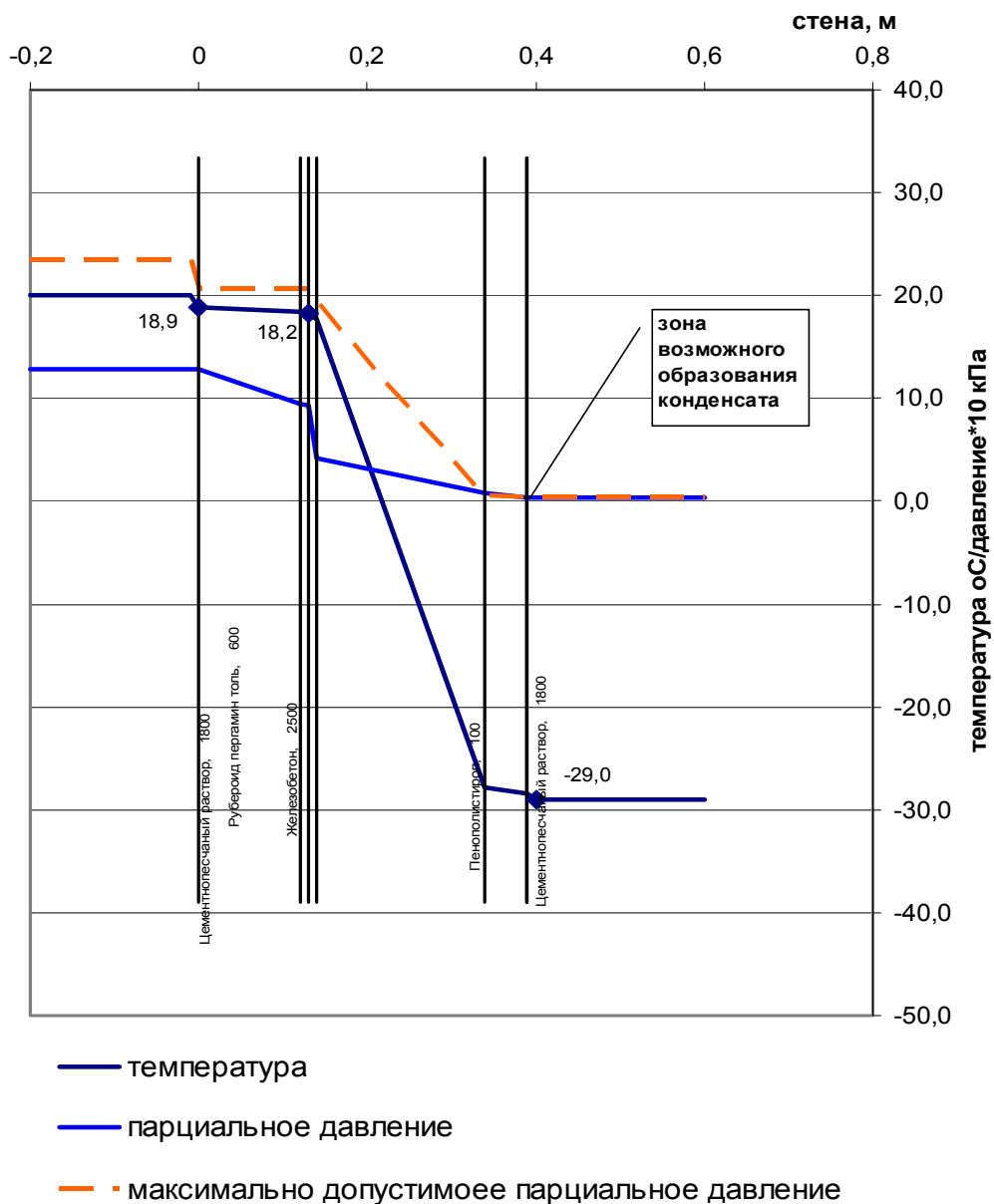
Для наглядности вычисления сводятся в таблицу, по результатам вычислений строятся графики распределения температуры по перекрытию, упругости водяного пара и упругости начала конденсации водяного пара.

Таблица 3.12

№ п/п	№ слоя	Сопротивление передаче отдельного слоя, $R_i$	Сопротивление теплопередаче слоев внутри $R_x$	Сопротивление паропроницанию отдельного слоя $R_p$	Сопро- тивление паропроницанию всех слоев внутри $\Sigma R_i$	Температура	Парциальное давление	Максимально допустимое парциальное давление
	помещение					20,0	12,863	23,387
1	изнутри	0,115	0,115	0,000	0,000	18,928	12,863	20,640
2	граница 1-2	0,063	0,177	4,000	4,000	18,345	9,465	20,640
3	граница 2-3	0,013	0,191	0,111	4,111	18,222	9,370	20,640
4	граница 3-4	0,059	0,249	6,061	10,172	17,673	4,221	19,373
5	граница 4-5	4,878	5,127	4,000	14,172	-27,837	0,823	0,453
6	граница 5-6	0,066	5,193	0,556	14,727	-28,451	0,351	0,413
	улица	0,059	5,252	0,000	14,727	-29,0	0,351	0,413
		$\Sigma=5,252$		$\Sigma=$	14,727			



## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОЛЩЕ КОНСТРУКЦИИ



### **Выводы**

Анализ распределения линий парциального давления в перекрытии показывает, что при заданных температурно-влажностных условиях и параметрах ограждающей конструкции в холодное время года на внутренней поверхности конденсат образовываться не будет, вероятность образования конденсата возрастает только на границе слоя утеплителя и защитного слоя из цементно-песчаного раствора. В целом для вентилируемого чердачного перекрытия это нестрашно, так как будет происходить естественная сушка верхних слоев конструкции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности [Текст]: Федер. закон. – М.: 2012 – 22 с.
2. СП 131.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 Строительная климатология [Текст]. – М.: ООО «Аналитик». – 136 с.
3. Архитектура гражданских и промышленных зданий [Текст]: учебник для вузов. – В 5 т. /под общ. ред. В.М. Предтеченского. Т II Основы проектирования. – М.: Стройиздат, 1976. – 215 с.
4. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита здания. [Текст] – М.: Госстрой России, 2004. – 40 с
5. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты здания [Текст]. – М.: Госстрой России, 2005. – 140 с

Введение .....	3
1. МЕТОДИКИ ПО РАСЧЕТАМ: ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО, НА ВОЗДУХО- И ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ И ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА В ТОЛЩЕ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ .....	4
1.1. Методика выполнения теплотехнического расчета наружной ограждающей конструкции .....	4
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ОДНОСЛОЙНОЙ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ.....	11
2.1. Теплотехнический расчет наружной стены без утепления.....	11
2.3. Сопротивление паропроницанию ограждающих конструкций .....	14
2.4. Оценка возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции в зимнее время года .....	17
3. ВАРИАНТЫ УТЕПЛЕНИЯ СТЕН, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СОВРЕМЕННОЙ ПРАКТИКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	20
4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ С УТЕПЛЕНИЕМ.....	24
4.1. Теплотехнический расчет наружной стены жилого здания (вариант при толщине стены 640).....	24
4.2. Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций.....	26
4.3. Сопротивление паропроницанию ограждающих конструкций .....	27
4.4. Оценка возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции в зимнее время года .....	30
5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ (ЧЕРДАК ХОЛОДНЫЙ) .....	33
5.1. Теплотехнический расчет чердачного перекрытия .....	33
5.2. Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций.....	35
5.3. Сопротивление паропроницанию ограждающих конструкций .....	36
5.4. Оценка возможности образования конденсата на внутренней поверхности ограждающей конструкции в зимнее время года .....	39
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	42

Учебное издание

Викторова Ольга Леонидовна  
Петрянина Любовь Николаевна  
Зворыгина Светлана Владимировна

## ОЦЕНКА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания для самостоятельной работы студентов  
Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова

В авторской редакции  
Верстка Н.В. Кучина

---

Подписано в печать 30.06.2014.      Формат 60x84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 2,56.      Уч.-изд.л. 2,75.      Тираж 80 экз.  
Заказ № 217.

---

Издательство ПГУАС.  
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28