

Министерство науки и высшего образования РФ
Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

Моделирование влияния дефектов строительства на тепловые потери оболочки гражданских зданий

**Байбурин А.Х., проф., д.т.н.,
Пикус Г.А., доц. к.т.н.,
Русанов А.Е., доц., к.т.н.,
Рыбаков М.М., аспирант,
Самарин А.Ю., аспирант**

Челябинск – 2019

Моделирование влияния дефектов строительства на тепловые потери оболочки зданий

Задача от СРО ССК Урала и Сибири и Гостройнадзора

Челябинской области:

возможно ли без проведения трудоемких и дорогостоящих натуральных испытаний подтвердить проектный класс энергетической эффективности зданий по данным строительного контроля, авторского надзора (при наличии) и госстройнадзора?

Моделирование влияния дефектов строительства на тепловые потери оболочки зданий

Цель: технологическое обеспечение нормативных параметров энергетической эффективности ограждающих конструкций зданий по ФЗ-261.

- 1. Исследование производственных дефектов**
- 2. Создание лабораторно-программного комплекса**
- 3. Экспериментальные исследования влияния дефектов**
- 4. Компьютерное моделирование влияния дефектов**
- 5. Разработка регламента строительного контроля и подтверждения класса энергоэффективности**

Дефекты примененных материалов (на примере плит утеплителя)



а)



б)



в)

Рисунок 2.1 – Использование материалов с пониженными теплозащитными характеристиками:

а) дефекты перевозки материалов; б) дефекты складирования материалов; в) применение при производстве работ

Мероприятия: обязательная сертификация материалов; соблюдение правил перевозки и складирования; входной контроль

Нарушения технологии устройства оснований



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 2.2 – Нарушение технологии устройства основания:

а) превышение толщины швов каменной кладки; б) нарушение устройства швов каменной кладки; в) неплоскостность поверхности основания; г) «наплывы» на поверхности основания; д) зазор в деформационном шве между основанием и плитой перекрытия; е) образование неучтенных в проекте «мостиков холода»

Нарушения технологии устройства теплоизоляции



Рисунок 2.3 – Нарушение технологии устройства теплоизоляционного слоя:
а) зазор в стыке плит утеплителя; б) зазор в стыке кронштейна с плитой утеплителя;
в) отслоение теплоизоляционного слоя от основания; г) нарушение устройства ветро-
гидроизоляционной мембраны

Основные дефекты теплозащиты стен

- зазор в стыке плит утеплителя;
- зазор в стыке кронштейна с плитой утеплителя;
- отслоение плит утеплителя от основания;
- зазор в деформационном шве между основанием и плитой перекрытия;
- отклонение от проектного значения коэффициента теплопроводности утеплителя (повышенная строительная влажность утеплителя);
- отклонение от проектного значения коэффициента теплопроводности материала основания;
- отклонение от проектного значения толщины утеплителя

Гистограммы контролируемых параметров

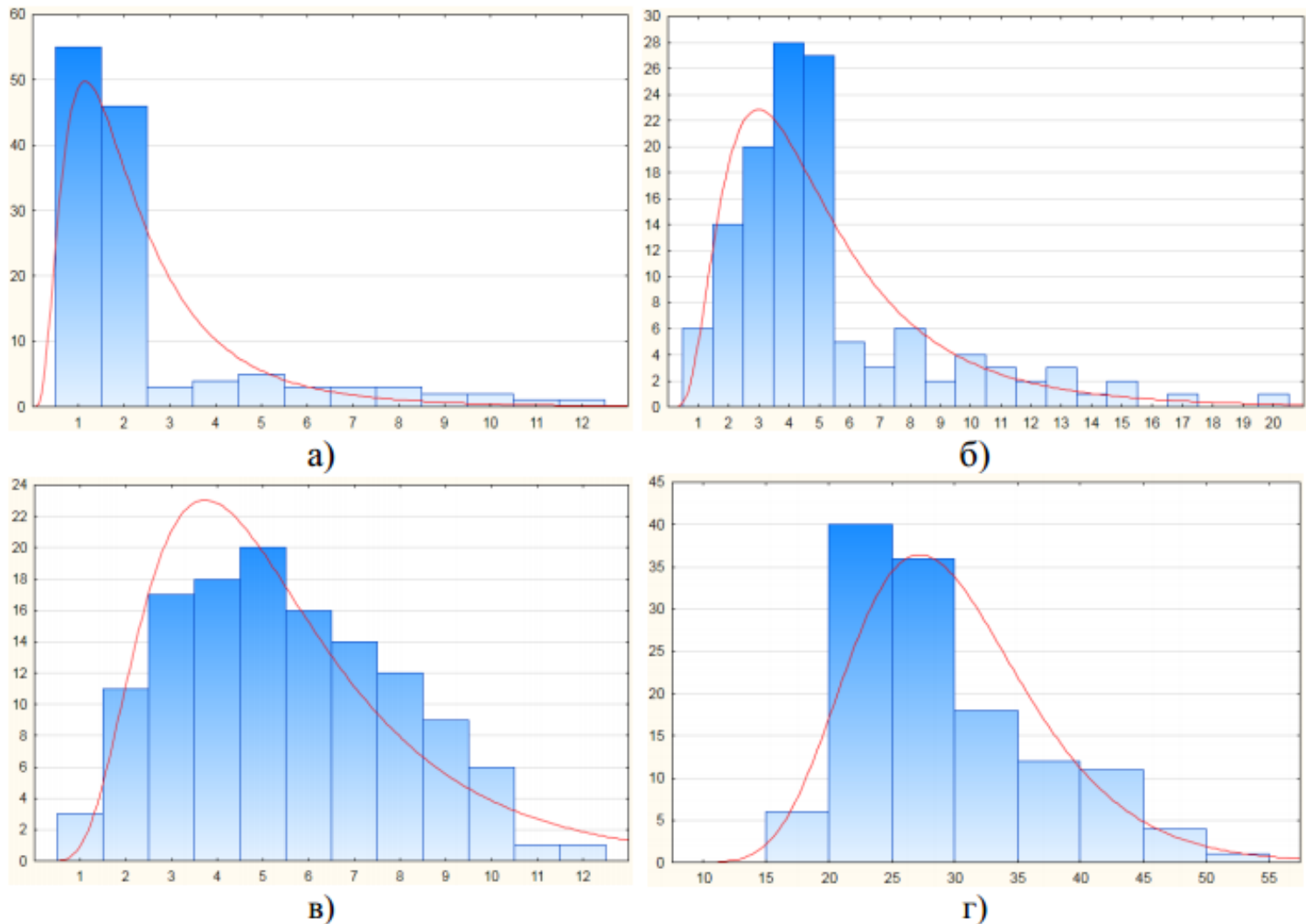


Рисунок 2.4 – Гистограммы контролируемых параметров:

- а) зазор в стыке плит утеплителя, мм; б) зазор в стыке кронштейна с плитой утеплителя, мм; в) отслоение плит утеплителя от основания, мм; г) зазор в деформационном шве между основанием и плитой перекрытия, мм

Дефектность по некоторым параметрам

Контролируемые параметры	\bar{X}	S_x	δX_n	Q
Зазор в стыке плит утеплителя	0,63	0,70	2,00	0,45
Зазор в стыке кронштейна с плитой утеплителя	1,47	0,62	5,00	0,41
Отслоение плит утеплителя от основания	1,58	0,52	6,00	0,35
Зазор в деформационном шве между основанием и плитой перекрытия	3,36	0,25	30,00	0,43

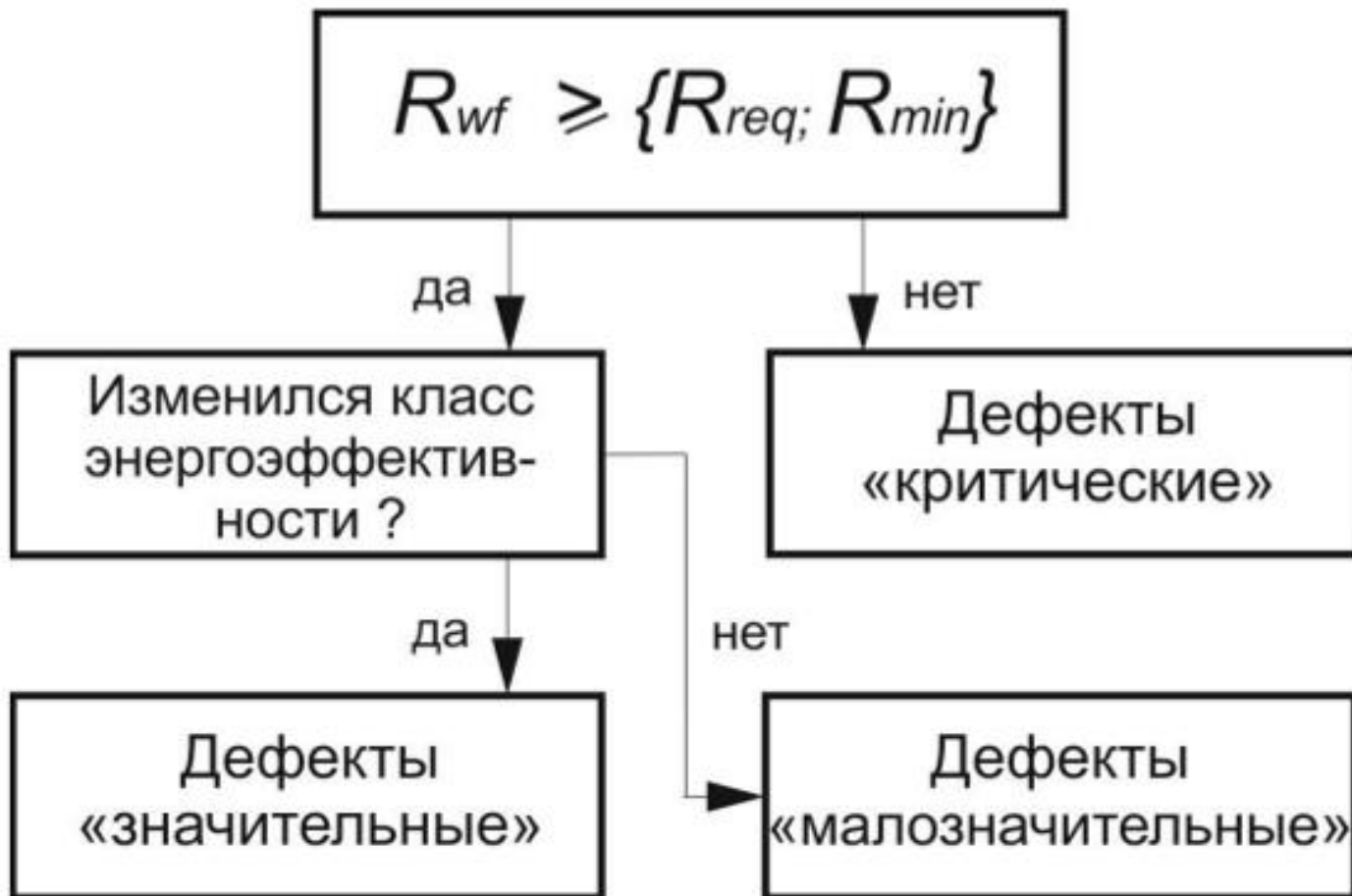
Примечания:

\bar{X} – среднее значение параметра; S_x – стандартное отклонение; δX_n – нормативное отклонение параметра; Q – дефектность.

Уровень дефектности достигает 35–45%.

Мероприятия: 1) усиление технологической дисциплины; 2) регламент операционного контроля; 3) подтверждение энергопаспорта

Классификация значимости дефектов по параметрам энергоэффективности



Теплотехнические испытания фрагмента стены



Климатическая камера МНУ-800CLSA, тепловизор FLIR E60, 10-ти канальный прибор ИТП-МГ4.03.10 «Поток», термогигрометр ТГЦ-МГ4, термогигрометр ТЕМП-3.2, измеритель теплопроводности ИСП-МГ4 «ЗОНД», анемометр-термометр цифровой ИСП-МГ4.01

Климатические камеры лабораторных испытаний



Климатическая
испытательная камера
MNU-800CLSA,
 $V = 0,8 \text{ м}^3$, $S = 1,2 \text{ м}^2$

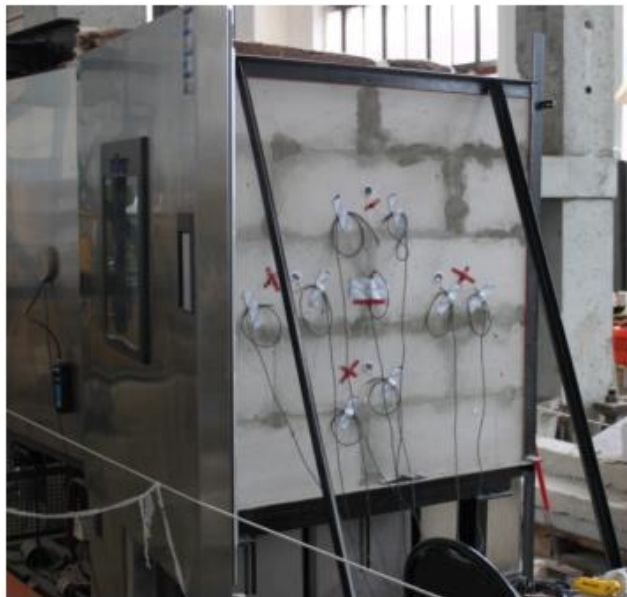
Испытание фрагментов
плоских ограждающих
конструкций

Климатическая испытательная
камера КХТВ-24.
Объем 24 м^3 , Внутренние
габариты: $4200 \times 3300 \times 2300 \text{ мм}$
Температуры $-70 \dots +100 \text{ }^\circ\text{C}$.

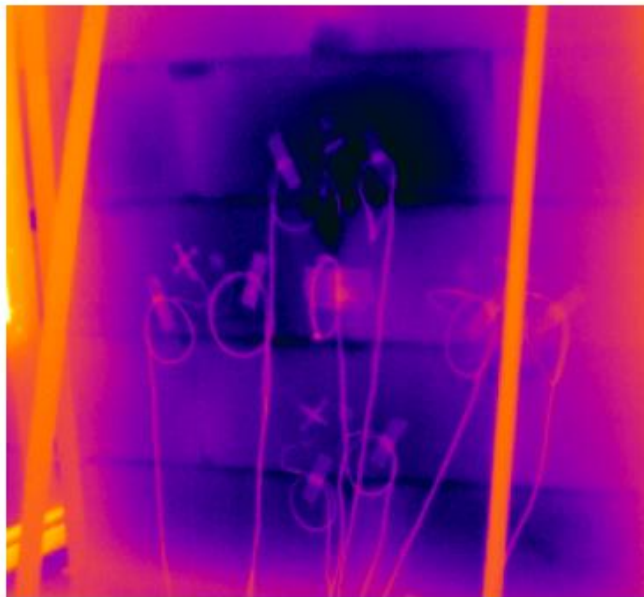
Испытание фрагментов
сложных очертаний, в том
числе замкнутых



Экспериментальные исследования. Моделирование зазора между плитами утеплителя



а)



б)



в)

Рисунок 2.10 – Фрагмент ограждающей конструкции с дефектом зазора в стыке плит утеплителя: а) фотоизображение фрагмента конструкции; б) термограмма фрагмента конструкции; в) фрагмент ограждающей конструкции

Состав конструкции: кладка из газобетонных блоков D500, $t=200$ мм, $\lambda=0,18$ Вт/(м^{°C}) на клею Ceresit CT21 $t=5$ мм $\lambda=0,7$ Вт/(м^{°C}); плиты утеплителя Лайнрок $t=100$ мм $\lambda=0,042$ Вт/(м^{°C}).

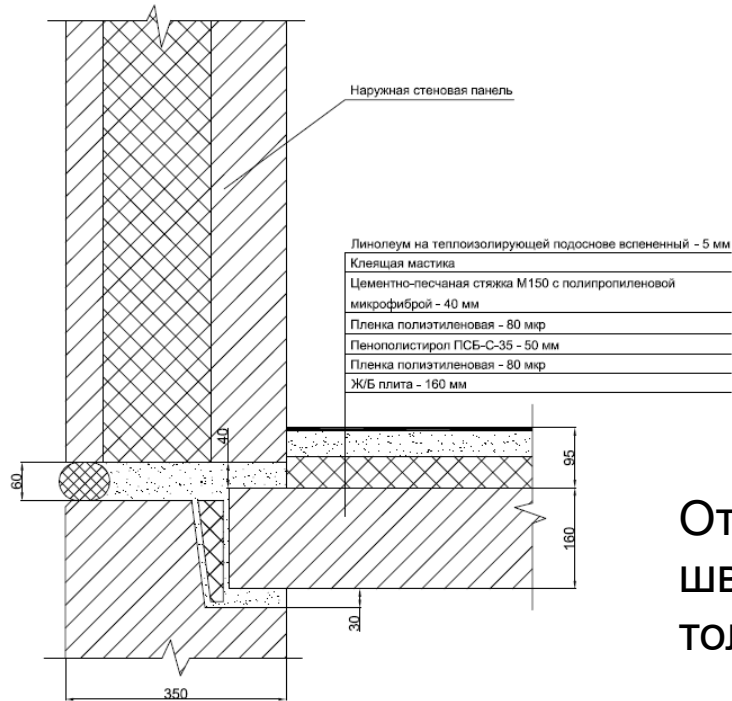
Результаты экспериментальных исследований

№ этапа	Объект исследования	$t_{ext}, ^\circ\text{C}$	$t_{int}, ^\circ\text{C}$	R_o^{np} эксп, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт
1	ФОК* (кладка газобетонных блоков на клею + теплоизоляционный слой)	-30,0	30,1	3,77
2	ФОК + 8 дюбелей	-29,9	30,3	3,24
3	ФОК + 8 дюбелей + отслоение (0,01 мм) плит утеплителя от основания	-30,0	28,4	1,56
4	ФОК + 8 дюбелей + 2 зазора в стыке плит утеплителя (0,01 м)	-30,0	29,9	2,26
5	ФОК + 6 дюбелей + 2 кронштейна (0,00 м)	-29,8	30,1	3,17
6	ФОК + 6 дюбелей + 1 кронштейн (0,00 м) + зазор в стыке кронштейна с плитой утеплителя (0,015 м)	-28,9	30,5	3,08

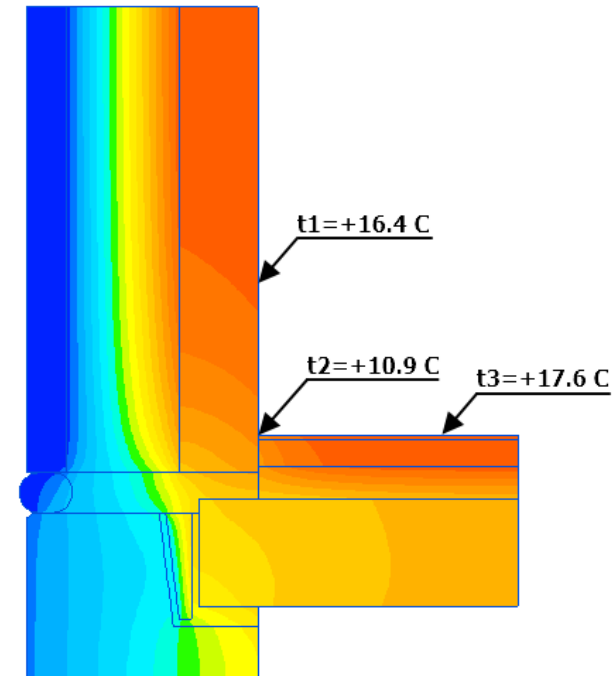
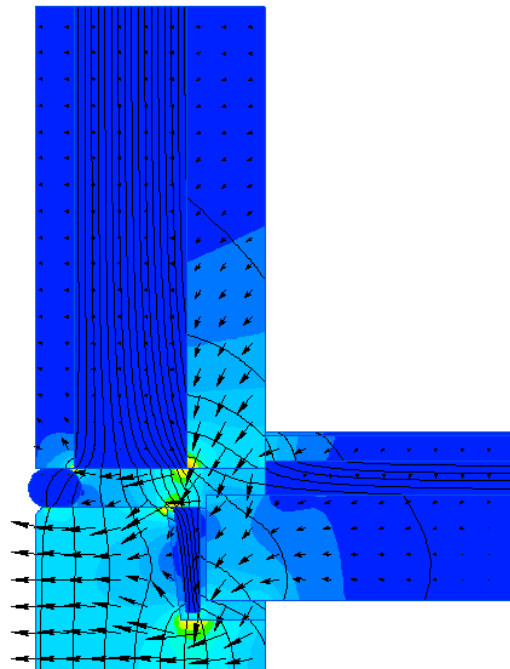
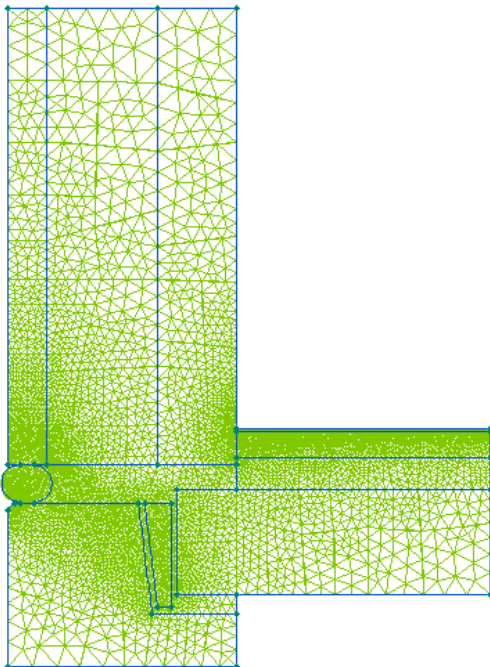
(*) – Фрагмент ограждающей конструкции

Влияние дефектов на приведенное сопротивление R_o^{np} :
зазор 15 мм в стыке кронштейна и утеплителя – 3 %
зазор 10 мм в стыке плит утеплителя (МВП) – 15 %
отслоение 10 мм плит утеплителя от основания – 52 %

Моделирование дефектов монтажа наружных ограждающих конструкций (ELCUD Professional v.5.10.1)



Отклонение толщины растворного горизонтального шва панелей над цокольным этажом (фактическая толщина шва 60 мм).



Компьютерное моделирование дефектов (ELCUD v.5.10.1)

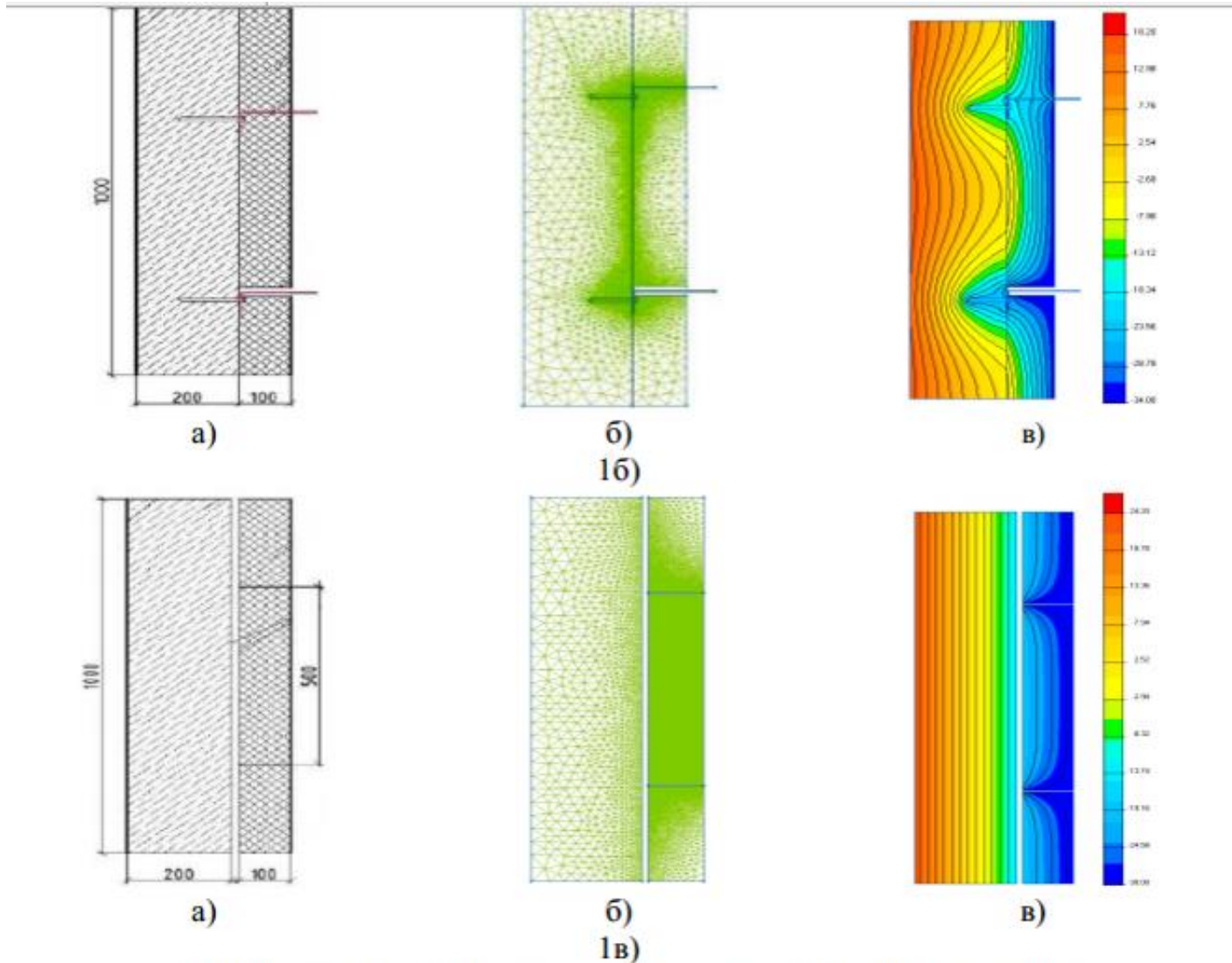
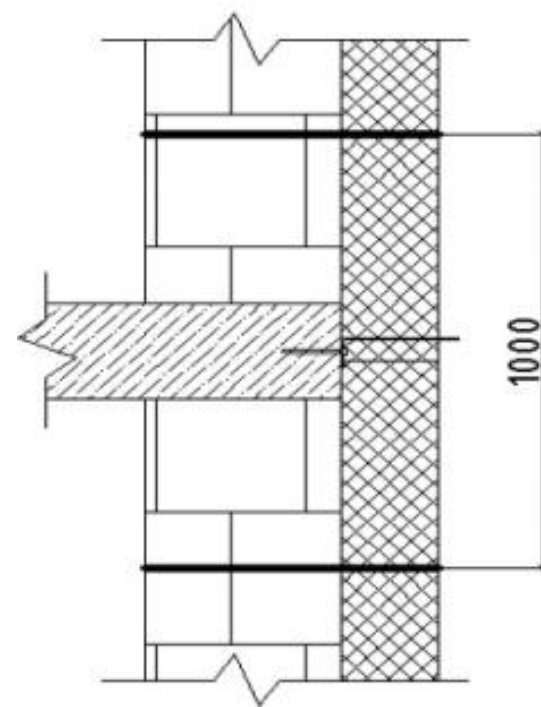
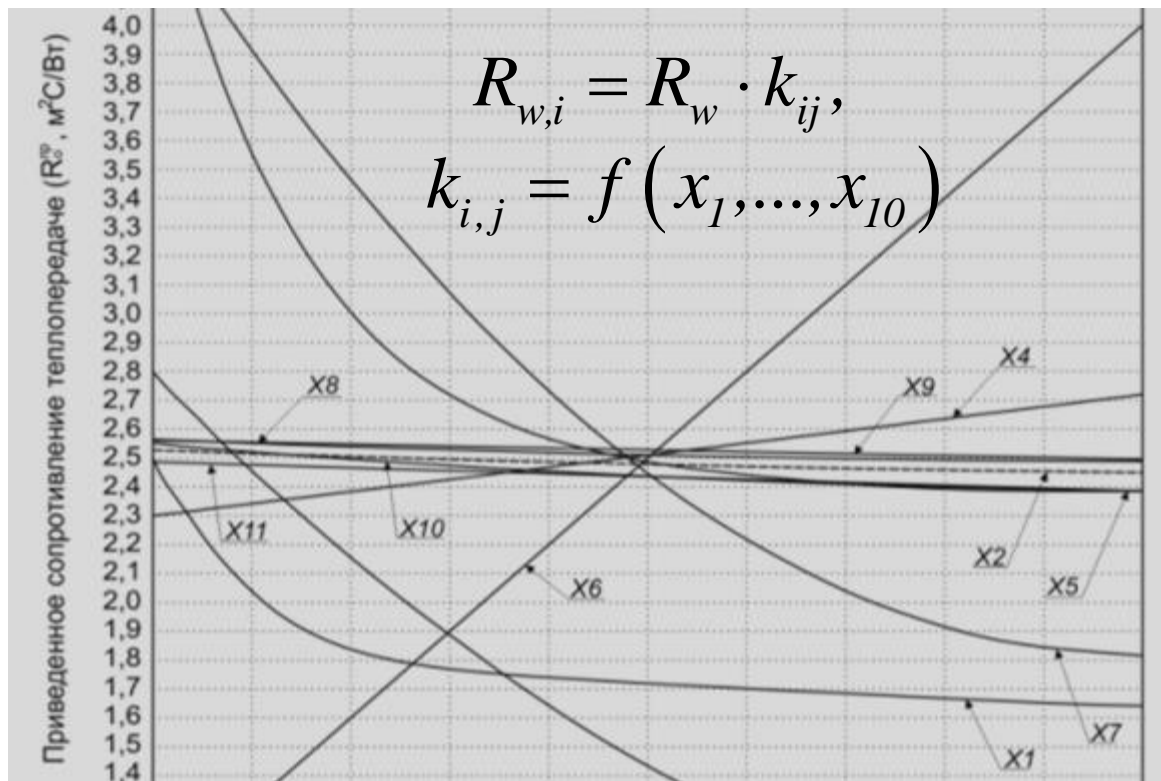


Рисунок 2.12 – Дефекты устройства наружной теплоизоляции:

1а) зазор в стыке плит утеплителя; 1б) зазор в стыке кронштейна с плитой утеплителя; 1в) отслоение плит утеплителя от основания; а) геометрическая схема фрагмента; б) сетка конечных элементов; в) температурное поле сечения фрагмента

Исследование влияния дефектов на теплозащиту



Разработаны **регламенты строительного контроля** устройства ограждающих конструкций по параметрам теплозащиты, а также методика фактического **подтверждения энергетического паспорта** и класса энергоэффективности зданий без проведения трудоемких и дорогостоящих испытаний.

Математическая модель совместного влияния дефектов на теплозащиту (глухая стена НФС)

$$y(k) = 0,66843 - 0,08368 \cdot X_1 - 0,01626 \cdot X_2 - 0,17607 \cdot X_3 + \\ + 0,02870 \cdot X_4 - 0,07676 \cdot X_5 - 0,16763 \cdot X_6 + 0,08294 \cdot X_7 + \\ + 0,04412 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,02661 \cdot X_1 \cdot X_5 - 0,04712 \cdot X_1 \cdot X_6 + \\ + 0,01650 \cdot X_1 \cdot X_7 + 0,01603 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,03240 \cdot X_3 \cdot X_5 - \\ - 0,06979 \cdot X_3 \cdot X_6 + 0,05030 \cdot X_3 \cdot X_7 - 0,03340 \cdot X_4 \cdot X_5 + \\ + 0,02285 \cdot X_4 \cdot X_6$$

X_1 – Зазор в стыке плит утеплителя, до 0,01 м

X_2 – Зазор в стыке кронштейна с плитой утеплителя, до 0,015 м

X_3 – Отслоение плит утеплителя от основания, до 0,01 м

X_4 – Отклонение от проектного значения толщины основания, 0,12–0,64 м

X_5 – Отклонение от проектного значения коэффициента теплопроводности материала основания, 0,12–2,05 Вт/м^{°С}

X_6 – Отклонение от проектного значения толщины теплоизоляционного слоя, 0,04–0,25 м

X_7 – Отклонение от проектного значения коэффициента теплопроводности материала теплоизоляционного слоя, 0,032–0,09 Вт/м^{°С}

Влияние дефектов на сопротивление теплопередаче

Вид дефекта теплозащиты (ед. измерения)	Величина дефекта	Коэффициент влияния (снижение сопротивления теплопередаче)
Зазор в стыке плит утеплителя стены, мм	1	0,82
	2	0,73
	5	0,69
	10	0,66
Отслоение плит утеплителя от основания (стены), мм	1	0,88
	2	0,77
	5	0,51
	10	0,31

Нарушения технологии устройства окон



Факторы влияния на теплопотери через оконные откосы

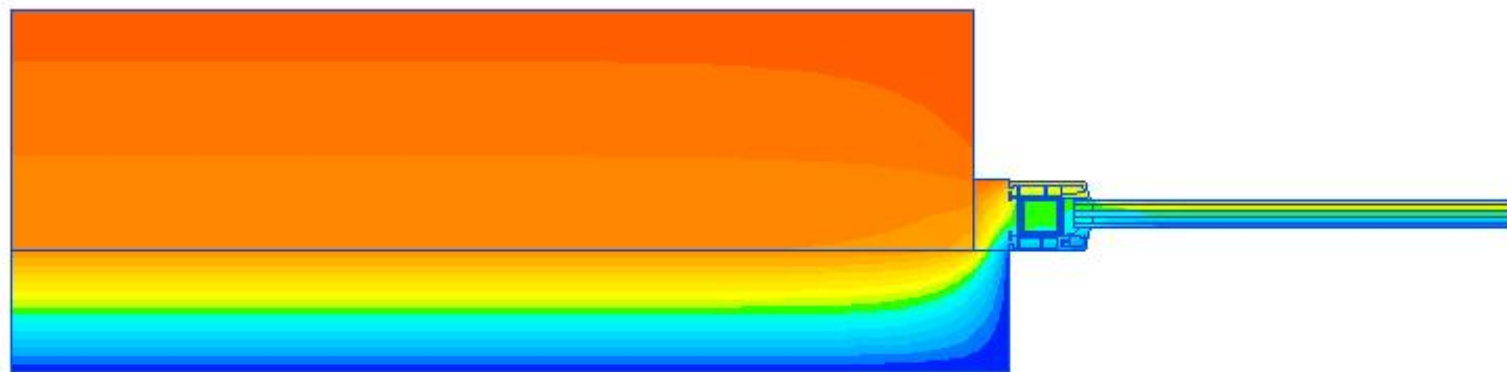
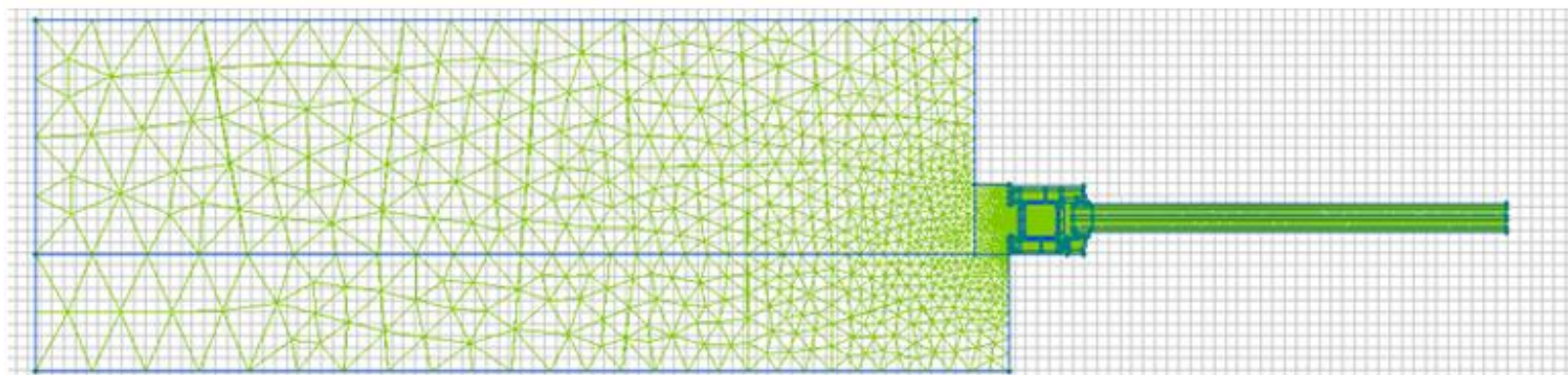
- ширина монтажного шва и коэффициент теплопроводности заполнения монтажного шва;
- размеры и коэффициент теплопроводности термовкладыша;
- положение оконной коробки по ширине проема;
- толщина оконного профиля, его материал и коэффициент теплопроводности;
- толщина и коэффициент теплопроводности материала стены;
- толщина и коэффициент теплопроводности утеплителя;
- высота и коэффициент теплопроводности перемычки (для верхнего откоса).

Испытательный стенд с оконной конструкцией



Камера холода/тепла/влаги КТХВ-24 объемом 24 куб.м, размером 4200x3300x2300 мм, тепловизор FLIR E60, 10-ти канальный прибор ИТП-МГ4.03.10 ПОТОК, термогигрометры ТГЦ-МГ4, ТЕМП-3.22, измеритель теплопроводности ИСП-МГ4 ЗОНД, анемометр цифровой ИСП-МГ4.01

Компьютерное моделирование и расчет оконного откоса (ELCUD Professional v.5.10.1)

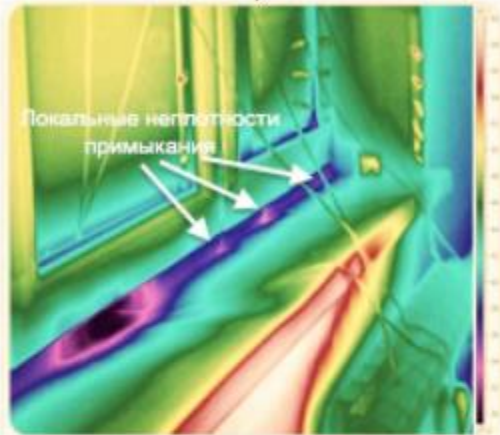


Влияние дефектов на теплопотери через откос

Вид дефекта оконного откоса (ед. измерения)	Величина дефекта	Коэффициент влияния (снижение сопротивления теплопередаче)
Ширина монтажного шва, мм	60	1,00
	40	0,95
	20	0,81
	10	0,66
Отклонение положения оконной коробки в проеме, % от ширины стены	0	1,00
	10	0,84
	20	0,70
	30	0,62

Натурные теплофизические испытания

а)



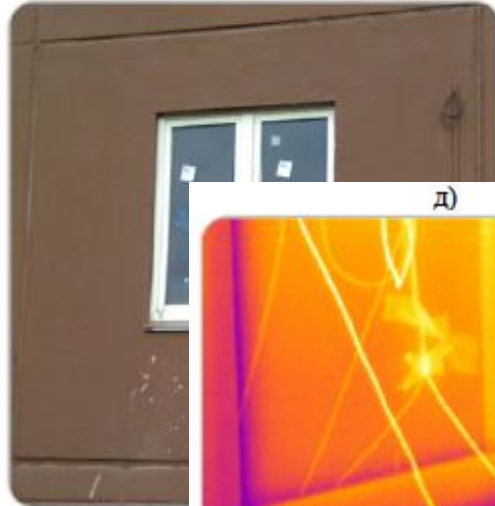
б)



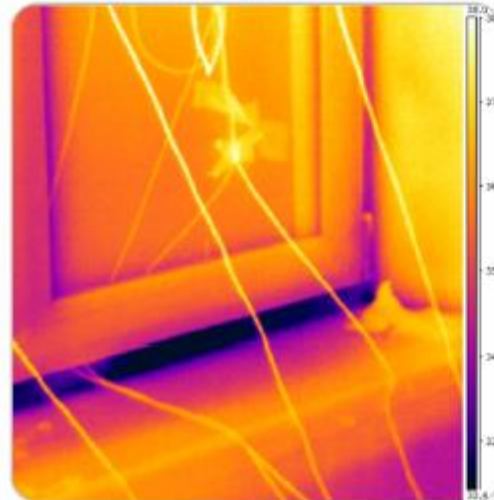
в)



г)



д)

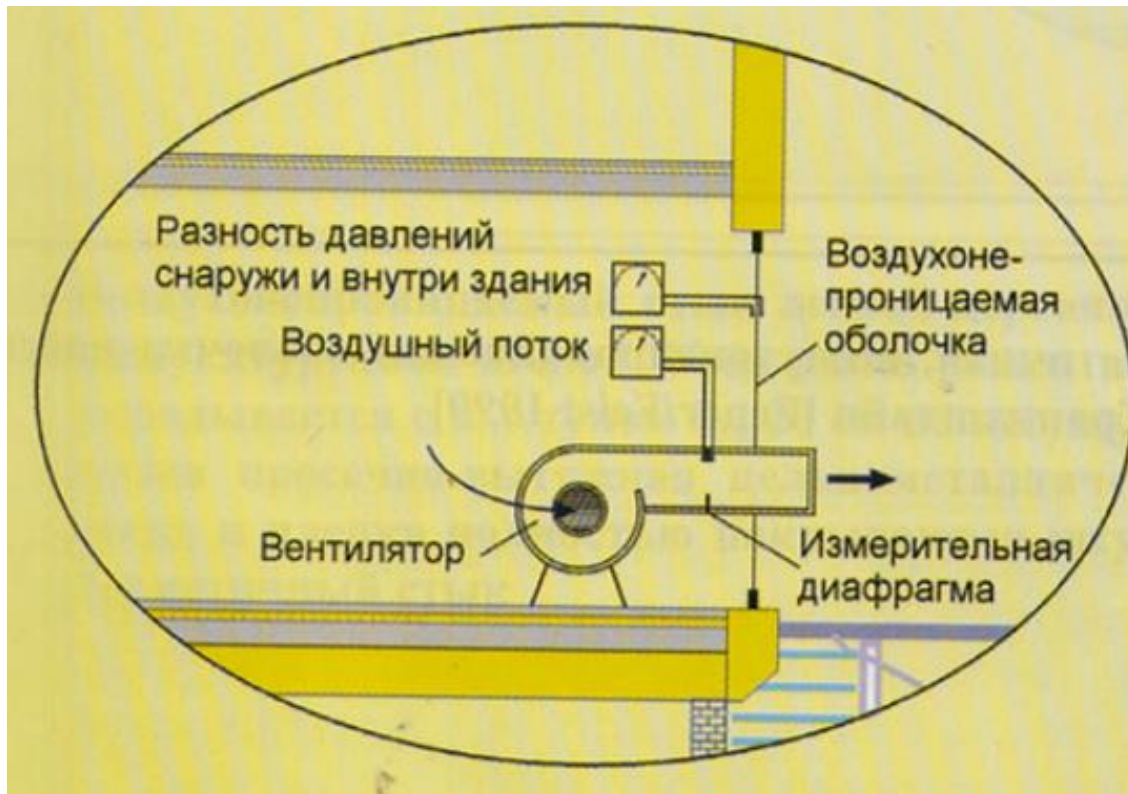


е)



Патент РФ на полезную модель № 146590
«Устройство определения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций в летний период»

Испытание на воздухопроницаемость



Автоматизированные
испытаний на воздухо-
проницаемость по методике
Blower Door (дверь-вентилятор)

Оборудование для натурных испытаний



Аэродверь



Тепловизор
Testo 875-2



Тепловизор
Flir



Пирометр
Optris LaserSight



Термогигрометр
ТГЦ-МГ 4.01



Анемометр
ИСП-МГ4.01

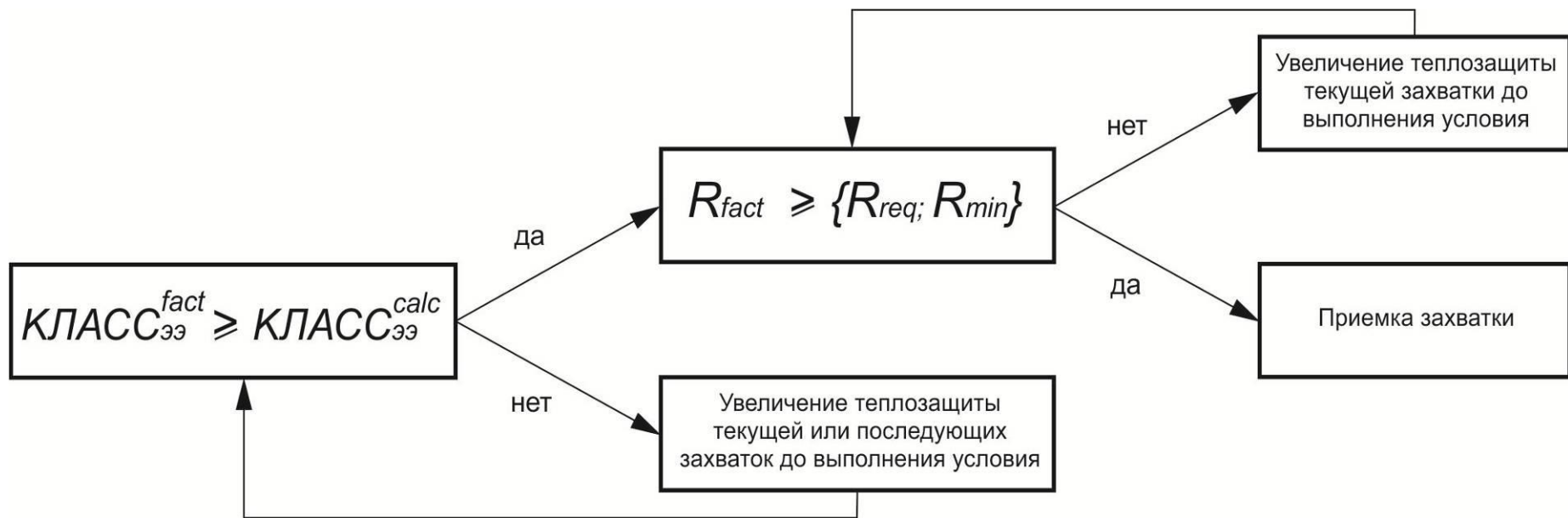


Измеритель плотности
тепловых потоков
ИТП-МГ4.03



Измеритель
теплопроводности
ИТП-МГ4 Зонд

Контроль параметров энергетического паспорта с учетом фактического исполнения



Новая методика расчета параметров энергетического паспорта здания в процессе производства работ позволяет оперативно принимать решения по устранению возможных нарушений, сравнивать на определенном этапе строительства фактический класс энергетической эффективности с проектным.

Выводы

1. **Классифицированы дефекты теплозащиты** (уровень дефектности до 35–45%). При совместном проявлении могут значительно снижать сопротивление теплопередаче (подтверждение данных НИИСФ РААСН).
2. **Разработан стандарт ССК УрСиб** по контролю качества устройства ограждающих конструкций по параметрам теплозащиты.
3. **Предложен регламент** подтверждения энергетического паспорта здания с учетом фактического исполнения.
4. **Сформирован лабораторно-программный комплекс** для теплофизических испытаний фрагментов ограждающих конструкций.

Разработка нормативных документов

Logo of the Union of Construction Companies of the Ural and Siberia (ССК) featuring a stylized 'К' and 'С' in a circle.

некоммерческое партнерство
саморегулируемая организация
СОЮЗ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ
Урала и Сибири

ОДОБРЕНО
Комитетом по разработке стандартов и правил
некоммерческого партнерства
«Саморегулируемая организация
Союз строительных компаний Урала и Сибири»
Протокол № 20 от 18 июля 2013г.

СТАНДАРТ

СТ – НП СРО ССК – 02 – 2013

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ.
КОНТРОЛЬ СОБЛЮДЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ
ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

ВПЕРВЫЕ
Дата введения в действие: « ____ » _____ 2013 г.

Челябинск, 2013

Результаты исследований
использованы в стандартах СРО
«Союз строительных компаний Урала и
Сибири» (около 1500 членов):

СТ-НП СРО ССК- 02-2013

**Оценка энергетической
эффективности зданий. Контроль
соблюдения требований тепловой
защиты наружных ограждающих
конструкций зданий**

Р-ССК-03-2016

**Оценка энергетической
эффективности зданий. Расчетно-
экспериментальный контроль
нормируемых энергетических
показателей зданий**



Спасибо за внимание!

Южно-Уральский государственный университет
Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»
Челябинск, пр. Ленина, 76, тел. 8(351)267-91-83,
E-mail: 2679187@mail.ru, Website: www.susu.ru