

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

на правах рукописи

СУЛТАНОВ ШУХРАТ ТАХИРОВИЧ

**«Пенополиизоциануратный утеплитель в многослойных ограждающих
конструкциях зданий»**

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

Направление подготовки 08.06.01 - Техника и технологии строительства

Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения

Санкт-Петербург – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	7
1.1. Вспененные материалы на основе полимеров	7
Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАБОТЕ МАТЕРИАЛОВ.....	9
2.1 Методика определения диффузионного влагопоглощения.....	9
2.2 Методика определения коэффициента теплопроводности.....	11
2.3 Методика определения влияния температурно-влажностных воздействий на показатели теплопроводности и изменения коэффициента теплопроводности с течением времени	13
2.4 Методика определения влияния циклического замораживания- оттаивания (ЦЗО) на показатели теплопроводности.....	14
2.5 Характеристики используемых в работе материалов	15
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛИТ ИЗ ПЕНОПОЛИИЗОЦИАНУРАТА И АНАЛОГОВ - ПЛИТЫ ИЗ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ.....	16
3.1 Экспериментальное определение диффузионного влагопоглощения.	16
3.2 Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности .	17
3.3 Экспериментальное определение влияния температурно-влажностных воздействий на показатели теплопроводности и изменения коэффициента теплопроводности с течением времени	18
3.4 Экспериментальное определение влияния циклического замораживания-оттаивания (ЦЗО) на показатели теплопроводности.....	20
ОБОБЩЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.....	21
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА	22
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	23

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Важнейшей проблемой в строительном секторе во всем мире является снижение энергопотребления. Результаты исследований показывают, что отопление помещений составляет 32% от общего энергопотребления здания. Учитывая эту ситуацию, изоляционные материалы часто являются ключевым элементом в ограждающих конструкциях зданий. Полиизоцианурат (PIR) становится наиболее широко используемой утеплителем кровли и ограждающих конструкций. Это связано с низким термическим сопротивлением полиизоцианурата по сравнению с другими утеплителями.

Степень разработанности темы исследования

Термическое сопротивление и теплопроводность является основным рассматриваемым параметром при выборе теплоизоляционного материала для ограждающих конструкций. Исследования традиционных теплоизоляционных материалов показывают, что эффективная теплопроводность большинства из них меняется в результате изменения параметров окружающей среды, включая температуру и влажности воздуха, или в результате старения материала. Следовательно, фактические характеристики ограждающих конструкций зданий могут отличаться от проектных значений, что приведет к увеличению энергопотребления здания, увеличению риска возникновения проблем с конденсацией и снижению комфорта жильцов. Целью данной работы является изучение влияния различных условий эксплуатации на теплотехнические параметры ограждающих конструкций зданий с использованием инновационного теплоизоляционного материала как полиизоцианурат.

Для этой цели были проведены различные лабораторные измерения и моделирования эксплуатационных условий, для лучшего понимания

практических последствий на ограждающие конструкции с применением пенополиизоцианурата.

Целью диссертационной работы - влияние циклического замораживания-оттаивания (ЦЗО) и переменных температурно-влажностных воздействий на характеристики теплофизических свойств утеплителя из пенополиизоцианурата в наружных конструкциях и разработка рекомендаций в строительстве вновь возводимых, восстанавливаемых и усиливаемых многослойных ограждающих конструкций.

Объект исследования

Наружные ограждающие конструкции зданий с применением пенополиизоцианурата (PIR), который как инновационный теплоизоляционный материал, обладает одним из самых низких коэффициентов теплопроводности.

Предмет исследования

Теплотехнические характеристики многослойных ограждающих конструкций зданий.

Научная новизна работы

1. Установлено, что ограждающие конструкции с применением пенополиизоцианурата по теплофизическим параметрам превосходят ограждающие конструкции с применением традиционного утеплителя - аналога из минеральной ваты в 2 раза;
2. Установлено, что воздействие влаги в диапазоне от 80% до 98% отрицательно влияет на коэффициент теплопроводности полиизоцианурата (PIR) и минеральной ваты. Коэффициент теплопроводности полиизоцианурата и минеральной ваты в среднем повысился на 10 и 70% соответственно;

3. Установлено, что происходит увеличение коэффициента теплопроводности утеплителя со временем, т.к. происходит замещения смеси газов в порах пенополиизоцианурата (PIR) на воздух. Через 365 и 720 суток коэффициент теплопроводности увеличился в среднем на 5 и 12% соответственно;
4. Установлено, что циклическое замораживание-оттаивание также отрицательно влияет на теплопроводность полиизоцианурата (PIR). После 50 циклов ЦЗО коэффициент теплопроводности утеплителя увеличился в среднем на 9 %, следовательно, за счет этого также ухудшаются показатели термического сопротивления ограждающих конструкций.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Аппроксимирующее выражение для учета факторов влияния (t W ЦЗО) на характеристики свойств;
2. Практические рекомендации по учету факторов влияния на характеристики свойств;
3. Внедрение результатов исследований в практику проектирования и строительства.

Методология и методы исследования

Все исследования по испытаниям проводились в аккредитованной испытательной лаборатории Санкт-Петербургский Политехнический университет в соответствии с апробированными методиками с использованием сертифицированного оборудования.

Положения, выносимые на защиту

1. Данные экспериментальных исследований определения диффузионного влагопоглощения;
2. Данные экспериментальных исследований определения коэффициента теплопроводности;

3. Данные экспериментальных исследований влияния температурно-влажностных воздействий на показатели теплопроводности и изменения коэффициента теплопроводности с течением времени;
4. Данные экспериментальных исследований влияния циклического замораживания-оттаивания (ЦЗО) на показатели коэффициента теплопроводности;
5. Численные результаты выполненной аппроксимации и практические рекомендации.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Материалы были опубликованы в 2 журналах, рекомендованных ВАК и в 4 англоязычных изданиях индексируемых в Web of Science и Scopus.

Результаты диссертационного исследования докладывались:

1. 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies (ESaT 2018), September 12-14, 2018, Slovak Republic;

2. XVIII Международная конференция «Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий» (ДонНАСА), 18-19 апреля 2019 г., г. Макеевка, ДНР.

Внедрение результатов исследования

Теоретические и практические результаты диссертационной работы будут внедрены в стандарт: 1.13.144-1.043.18 "Покрытие теплоизоляционное из пенополиуретана (ППУ) и пенополиизоцианурата (ПИР), напыляемое на месте производства работ. Технические условия"

Личное участие автора в получении результатов

Автор работы является основным исполнителем проведенного перспективного исследования на всех его этапах. При активном участии автора подготовлены публикации на основании полученных результатов выполненной работы.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1. Вспененные материалы на основе полимеров

Полимерные пены встречаются практически везде в нашем современном мире и используются в самых разнообразных областях применения.

Полимер - это молекула, в которой несколько небольших молекул, то есть мономеров, соединены химическими связями под действием катализаторов в процессе, называемом полимеризацией. Если полимер содержит только один тип мономера, он называется гомополимером, а полимеры, содержащие несколько разных мономеров, называются сополимерами.

Полимеры можно разделить на синтетические и природные. Природные полимеры или биополимеры включают крахмал, целлюлозу, ДНК, белки, каучук и гуттаперчу. Сегодня наиболее широко используемые пластмассы, полиэтилен, полипропилен и поливинилхлорид, представляют собой синтетические продукты, относящиеся к цепочкам нефтехимической переработки. Пластмассы обладают высокой степенью полимеризации, что означает, что каждая молекула (полимерная цепь) состоит из 1000-100000 небольших молекул (мономеров).

Большинство полимеров являются органическими, построенными вокруг углеродной цепи, но также известны и используются полимеры, традиционно считающиеся химически неорганическими. Наиболее известным из них, вероятно, является силикон, образованный из цепи кремний-кислород, который представляет собой полиалкилсилоксан, $(RSiO)_n$, где R - углеводородная группа

Полиизоцианурат, сокращенно PIR, представляет собой изолятор, принадлежащий к семейству жестких пенополиуретанов (PUR). Основное различие между ними заключается в наличии большого количества структур

изоциануратных кислот, которые создаются тримеризацией трех молекул полимерического изоцианата.

На сегодняшний день известно, что полиизоцианурат (PIR) становится наиболее широко используемой утеплителем кровли и ограждающих конструкций. Это связано с низким термическим сопротивлением полиизоцианурата по сравнению с другими утеплителями. Однако фактические теплофизические характеристики полиизоцианурата отличаются от проектных прогнозов, что приводит к увеличению энергопотребления здания, увеличению риска возникновения проблем с конденсацией и снижению комфорта жильцов. Необходимо проанализировать изменения теплофизических показателей при воздействии на утеплитель высокой влажности и циклических замораживаний-оттаиваний.

Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В РАБОТЕ МАТЕРИАЛОВ

2.1 Методика определения диффузионного влагопоглощения

Эксперимент по моделированию длительных воздействий влаги на образцы пенополиизоцианурата и минеральной ваты с разных сторон, в том числе моделирует воздействие разности давлений водяного пара и высокой относительной влажности воздуха в течении 28 суток.

Эксперименты проводились в соответствии с требованиями Национального стандарта России EN 12088-2011.

Панель из минеральной ваты была разрезана с использованием изоляционного ножа, чтобы получить необходимые длины и ширины, равные 500 и 500 мм соответственно. В течении нескольких часов образцы хранились при комнатной температуре ($t=(20 \pm 2^\circ \text{C})$, $W=(60 \pm 2\%)$). После выдерживания образцы взвешивались на точных весах с целью определения начальной массы. На раму был установлен первый образец. После уплотнения образца края образца по периметру были загерметизированы. Сверху была размещена пластина куда подается холодный воздух из холодильника, моделируя эти зиму. Снизу в контейнер была залита вода которая постоянно нагревала воду до 55°C . С другой стороны, противоположная сторона образца помещается в теплоизолированный контейнер с водой. Длительной испытаний составило 28 суток. В течении 28 суток образец переворачивался 4 раза каждые 7 суток. (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Прибор для определения диффузионного влагопоглощения

После истечения 28 суток образцы были взвешены на точных веса для определения массы. Затем высчитывалось количество поглощенной влаги по массе W_{dp} в кг/м² и по объему W_{dv} в %, по формулам:

$$W_{dp} = \frac{m_D - m_0}{A_p} \quad (1)$$

$$W_{dv} = \frac{m_D - m_0}{A_p \cdot d} \cdot \frac{100}{\rho_w} \quad (2)$$

где m_D - масса образца после выдержки в контейнере в течение 28 сут, кг

m_0 - первоначальная масса образца, кг;

A_p - площадь нижней грани образца, м;

d - толщина образца, м;

ρ_w - плотность воды; допускается принимать равной 1000 кг/м.

W_{dp} округляется до 0,01 кг/м, W_{dv} - до 0,1%

На рисунке 3 показана блок-схема эксперимента для получения долговременного поглощения влаги путем диффузии.

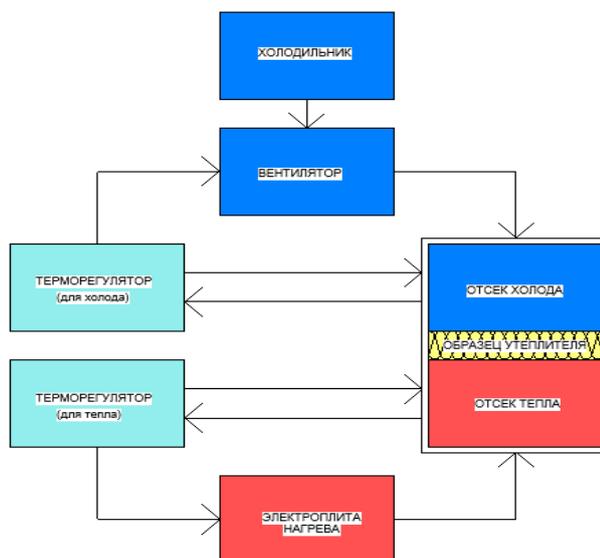


Рисунок 3 - Схема испытания по определению диффузионного влагопоглощения

2.2 Методика определения коэффициента теплопроводности

Теплопроводность - это способность материала проводить тепло. Значение теплопроводности может быть определено путем измерения скорости, с которой тепло может проходить через материал.

Эксперименты проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 7076-99.

Прибором измеряется плотность теплового потока, который проходит через образец и направлен перпендикулярно. Также измеряется температура образцов с двух сторон

Панель образцов предварительно высушивается в сушильной камере до постоянной массы (Рисунок 4.). Далее изготавливается образец в виде квадрата.



Рисунок 4 - Предварительно высушивание образцов в сушильной камере

Прибор для измерения теплопроводности представлен на Рисунке 5. После выдерживания образца в сушильной камере образец помещается в прибор ПИТ 2.1, который имеет верхний нагреватель и нижний холодильник. Измерение происходит в автоматическом режиме.

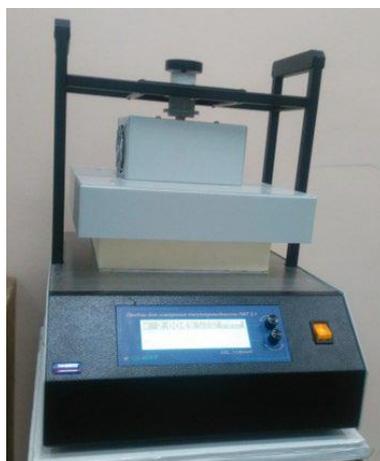


Рисунок 5 - Прибор для измерения теплопроводности ПИТ-2.1

2.3 Методика определения влияния температурно-влажностных воздействий на показатели теплопроводности и изменения коэффициента теплопроводности с течением времени

Определения коэффициента теплопроводности во влажном состоянии были проведены спустя 720 суток (для марок RUS) и спустя 6 лет (для марки FIN, предоставленным ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) от даты первичных испытаний. Образцы выдерживались в климатической камере тепло-влаги при влажности 80% и 97% (Рисунок 6).



Рисунок 6 - Климатическая камера SM Климат SM 5/100-250 ТВО

Испытания производились спустя 90, 180, 360, 720 суток и спустя 5 и 6 лет (для марки FIN, предоставленным ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) по прогнозированию теплофизических свойств пенополиизоцианурата в эксплуатационных условиях.

Эксперименты проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 7076-99.

Задача исследования изменения коэффициента теплопроводности во влажном состоянии и с течением времени – прогнозировать

теплопроводность материала в естественных эксплуатационных условиях и после ряда лет эксплуатации.

2.4 Методика определения влияния циклического замораживания-оттаивания (ЦЗО) на показатели теплопроводности

Термическое сопротивление изолирующих пенопластовых изделий может изменяться в течение срока их службы, что обусловлено изменениями состава газа, содержащегося в ячейках полиизоцианурата вследствие диффузии. Это явление часто называют старением, и это медленный процесс, который происходит в течение многих лет. С практической точки зрения, процесс старения часто ускоряется в лабораторных испытаниях, чтобы оценить долговременное термическое сопротивление изоляционных материалов.

Для оценки старения, вызванного термоциклированием, образцы помещали в морозильную камеру. Испытательная камера представляла собой климатическую камеру Термакон ТХ-500 (рисунок 7). Циклы были запрограммированы электронным реле времени.

Камера работала в следующих 24-часовых циклах: за один цикл принимается нагрев камеры до температуры $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, с последующей выдержкой в течение 10 часов, затем охлаждения камеры в течение 2 часов до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, с последующей выдержкой в течение 10 часов, а затем цикл повторялся. Материалы подвергались 50 циклам замораживания-оттаивания.



Рисунок 7 - Климатическая камера Термакон ТХ-500

Эксперименты по определению на теплопроводности проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 7076-99

2.5 Характеристики используемых в работе материалов

Образцы для определения диффузионного влагопоглощения в течение длительного времени:

- Плиты минеральной ваты толщиной 50 мм, $\rho=130 \text{ кг/м}^3$..
- Плиты PIR с алюминиевой облицовкой из фольги с двух сторон, толщиной 50 мм, $\rho=30 \text{ кг/м}^3$;

Образцы для испытания на теплопроводность:

- Плиты минеральной ваты толщиной 50 мм, $\rho=130 \text{ кг/м}^3$.
- Плиты PIR без фольги, толщиной 50 мм, $\rho=30 \text{ кг/м}^3$;
- Плиты PIR с алюминиевой облицовкой из фольги с двух сторон, толщиной 50 мм, $\rho=30 \text{ кг/м}^3$;
- Плиты PIR без фольги, толщиной 50 мм, $\rho=30 \text{ кг/м}^3$;

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛИТ ИЗ ПЕНОПОЛИИЗОЦИАНУРАТА И АНАЛОГОВ - ПЛИТЫ ИЗ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

3.1 Экспериментальное определение диффузионного влагопоглощения

Эксперимент по моделированию длительных воздействий влаги на образцы пенополиизоцианурата и минеральной ваты с разных сторон. В том числе моделирует воздействие разности давлений водяного пара и высокой относительной влажности воздуха в течении 28 суток.

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные результаты диффузионного влагопоглощения образцов.

Материал	Влагопоглощение
	%
PIR с облицовкой из фольги №1	0,3
PIR с облицовкой из фольги №2	0,4
Минеральная вата №1	17,6
Минеральная вата №2	15,5

Исследование выявило, что у теплоизоляционного материала из минеральной ваты с волокнистой структурой, диффузионное влагопоглощение имеет большое значение чем у утеплителя. из в ходе его эксплуатации. Однако из-за разницы в структурах невозможно сделать окончательный вывод о том, какой из рассматриваемых материалов является более эффективным в ограждающих конструкциях.

Для окончательного вывода необходимо определить теплопроводность PIR во влажном состоянии и сравнить эти значения с аналогичными значениями для минеральной ваты.

3.2 Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности

Теплопроводность - это передача тепла от более горячих частей тела к более холодным, приводящая к выравниванию температуры. В отличие от переноса тепла конвекцией, теплопроводность не имеет ничего общего с макроскопическими перемещениями в теле, а является результатом прямого переноса энергии между частицами, такими как молекулы, атомы и электроны.

Изготовленные образцы в виде прямоугольного параллелепипеда предварительно высушивались в сушильной камере до постоянной массы по нормам на испытание на теплопроводность.

Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты испытаний по определению коэффициента теплопроводности

Образец	Теплопроводность, λ (Вт/(м·К))
	$t_{cp} = 25^\circ\text{C}$
PIR с облицовкой из фольги №1	0.0220
PIR с облицовкой из фольги №2	0.0210
PIR без облицовки №1	0.0242
PIR без облицовки №2	0.0239
Минеральная вата №1	0.0351
Минеральная вата №2	0.0331

Полученные результаты подтверждают, что образцы соответствуют заявленным характеристикам теплопроводности в сухом состоянии.

3.3 Экспериментальное определение влияния температурно-влажностных воздействий на показатели теплопроводности и изменения коэффициента теплопроводности с течением времени

Экспериментальные исследования выявляли ухудшения теплотехнических показателей пенополиизоцианурат при воздействии на них влажности.

Испытания по определению влияния температурно-влажностных воздействий на показатели теплопроводности были проведены спустя 720 суток и спустя 6 лет (для марки FIN, предоставленным ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) от даты первичных испытаний. В течении этого времени образцы держались климатической камере при влажности $W = 80$ и 97 % соответственно.

Результаты представлены на таблице 3.

Таблица 3 - Результаты испытаний образцов пенополиизоцианурата во влажном состоянии

Образец	W	W=80 %	W=97 %	W	W=80 %	W=97 %	W	W=80 %	W=97 %
	Теплопроводность, λ (Вт/(м·К))								
	0			720 суток			2160 суток (6 лет)		
PIR с облицовкой из фольги №1	0,023	0,023	0,024	0,024	0,027	0,028	-	-	-
PIR с облицовкой из фольги №2	0,020	0,024	0,024	0,023	0,026	0,028	-	-	-
PIR без облицовки №1	0,024	0,025	0,026	0,027	0,029	0,029	-	-	-
PIR без облицовки №2	0,024 2	0,0261	0,0260	0,028	0,028	0,029	-	-	-
Минеральная вата №1	0,035 1	0,0486	0,0596	-	-	-	-	-	-
Минеральная вата №2	0,033 1	0,0486	0,0571	-	-	-	-	-	-

PIR с облицовкой из фольги (FIN)	0,021 *	-	-	-	-	-	0,023	0,025	0,026
----------------------------------	------------	---	---	---	---	---	-------	-------	-------

* Значение, полученное в испытательной лаборатории Всероссийского НИИ метрологии имени Д. И. Менделеева в 2013 г.

Испытания производились спустя 90, 180, 360, 720 суток и спустя 5 и 6 лет (для марки FIN, предоставленным ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) по прогнозированию теплофизических свойств пенополиизоцианурата в эксплуатационных условиях.

Результаты приведены в таблице 4

Таблица 4 - Результаты испытаний по изменению коэффициента теплопроводности с течением времени.

Образец	Сутки						
	0	90	180	360	720	1800 (5 лет)	2160 (6 лет)
	Теплопроводность, λ (Вт/(м·К))						
PIR с облицовкой из фольги №1	0.022	0.022	0.022	0.223	0.024	-	-
PIR с облицовкой из фольги №2	0.020	0.021	0.022	0.022	0.023	-	-
PIR без облицовки №1	0.024	0.024	0.024	0.026	0.027	-	-
PIR без облицовки №2	0.024	0.024	0.025	0.026	0.028	-	-
PIR с облицовкой из фольги, (FIN)	0,021*	-	-	-	-	0.022	0.023

* Значение, полученное в испытательной лаборатории Всероссийского НИИ метрологии имени Д. И. Менделеева в 2013 г.

В результате испытаний было установлено, что высокий уровень влажности способствуют увеличению теплопроводности материала, что ведет к утрате уникальных свойств пенополиизоцианурата (PIR). Следовательно, в реальных условиях это приведет к снижению теплозащитных качеств ограждающих конструкций.

3.4 Экспериментальное определение влияния циклического замораживания-оттаивания (ЦЗО) на показатели теплопроводности

Для оценки определение влияния циклического замораживания-оттаивания (ЦЗО) на показатели теплопроводности, образцы помещали в морозильную камеру.

Камера работала в следующих 24-часовых циклах: за один цикл принимается нагрев камеры до температуры $+40^{\circ}\text{C}$, с последующей выдержкой в течении 10 часов, затем охлаждения камеры в течении 2 часов до -30°C , с последующей выдержкой в течении 10 часов, а затем цикл повторялся. Материалы подвергались 50 циклам замораживания-оттаивания.

Для достоверности результатов количество образцов было увеличено до 6 шт.

Основные результаты эксперимента представлены на таблице 5.

Таблица 5 - Результаты испытаний по определению влияния циклического замораживания-оттаивания (ЦЗО) на показатели теплопроводности

Образец	Циклы	
	Теплопроводность, λ (Вт/(м·К))	
	0	50
PIR с облицовкой из фольги №1	0.0222	0.0246
PIR с облицовкой из фольги №2	0.0234	0.0248
PIR с облицовкой из фольги №3	0.0234	0.0242
PIR с облицовкой из фольги №4	0.0212	0.0247
PIR с облицовкой из фольги №5	0.0223	0.0245
PIR с облицовкой из фольги №6	0.0228	0.0244

Результаты испытаний показывают, что 50 циклов замораживания-оттаивания образцов привело к увеличению теплопроводности пенополиизоцианура (PIR) в среднем на 9%.

ОБОБЩЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

Исследования подтверждают, что применение полиизоцианурата (PIR) в ограждающих конструкциях более эффективно, поскольку он обладает более низкой теплопроводностью и низким влагопоглощением по сравнению с минеральной ватой, что имеет большое значение при его эксплуатации.

Однако эти исследования подчеркивают важность анализа эксплуатационных характеристик полиизоциануратов, чтобы не рассматривать термическое сопротивление и теплопроводность материала как постоянное значение. В результате проведенных испытаний было установлено, что влажность способствует увеличению теплопроводности материала, что приведет к снижению теплозащитных качеств ограждающих конструкций.

Испытания по прогнозированию в эксплуатационных условиях теплопроводности пенополиизоцианурата выявили, что со временем теплопроводность пенополиизоцианурата (PIR) увеличивается из-за замещения газа, попадающего в поры материала во время производства, воздухом, что также приведет к снижению теплозащитных качеств ограждающих конструкций.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

1. Vatin, N.I., Pestryakov, I.I., Sultanov, Sh.T., Ogidan, T.O., Yarunicheva, Y.A., Kiryushina, A.P. Water vapour by diffusion of PIR and mineral wool thermal insulation materials. Magazine of Civil Engineering. 2018. 81(5), pp. 183–192. (Диффузионное влагопоглощение теплоизоляционных изделий и минеральной ваты // Инженерно-строительный журнал, 2018);
2. Vatin, N., Sultanov, S., Krupina A. Comparison of Thermal Insulation Characteristics of PIR, Mineral Wool, Carbon Fiber, and Aerogel. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, vol 983, pp 877-883. (Сравнение теплоизоляционных характеристик PIR, минеральной ваты, углеродного волокна и аэрогеля // Шпрингер, 2019);
3. Vatin, N.I., Pestryakov, I.I., Sultanov, S.T., Ogidan, O.T., Yarunicheva, Y.A., Kiryushina, A.P. Water vapour by diffusion of PIR and mineral wool thermal insulation materials (2019) Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III- Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies, ESaT 2018, pp. 643-649;
4. Ватин Н.И., Султанов Ш.Т. Крупина А. Сравнение теплоизоляционных характеристик пенополиизоцианурата (pir), минеральной ваты, карбона и аэрогеля. Вестник донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2019. №:, 4 (138) , с. 161- 165.
5. Sultanov S.. Pestryakov I.. Korneeva E.. Monastyreva D. The Use of Mineral Wool Insulation and Polyisocyanurate Foam in Terms of Water Absorption. Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE): Proceedings of EECE 2019, 2020, pp. 517-527 (Использование минеральной ваты и полиизоциануратной пены в условиях водопоглощения // Шпрингер, 2020).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ