

**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНСТРОЙ РОССИИ)**



**федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук»
(НИИСФ РААСН)**

Research Institute of Building Physics

Russian Academy of Architecture and Construction Science (NIISF RAACS)



УТВЕРЖДАЮ
Директор НИИСФ РААСН

Шубин И.Л.

« »
2022 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

по теме:

**Определение срока эффективной эксплуатации
сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты
производства ООО «ДорХан 21 век - Можайск»**

Договор № 12140(2021) от «17» марта 2022 г.

Рук. сектора испытаний теплофизических
характеристик строительных материалов,
вед.науч.сотр. лаб. строит. теплофизики, к.т.н.

П.П. Пастушков

Москва, 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Методика испытаний для расчета срока эффективной эксплуатации минераловатных теплоизоляционных материалов	5
1.1 Сущность метода испытаний	5
1.2 Испытательное оборудование и средства контроля	5
1.3 Подготовка к испытаниям	6
1.4 Проведение испытаний	7
1.5 Обработка результатов испытаний	8
1.6 Оценка результатов испытаний	9
2. Результаты исследований теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации	11
3. Расчет срока эффективной эксплуатации по изменению теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	17

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации ограждающих конструкций теплофизические показатели применяемых теплоизоляционных материалов меняются в зависимости от различных факторов. Основным фактором, влияющим на изменение теплофизических показателей, для всех типов теплоизоляционных материалов является температурно-влажностный режим, при котором эксплуатируется ограждающая конструкция. Влажностное состояние теплоизоляционных материалов в составе ограждающих конструкций изменяется в зависимости от конструктивных особенностей, свойств материалов, температурно-влажностных условий в помещениях, климатических условий района строительства. Влажностный режим определяет эксплуатационные свойства ограждающих конструкций зданий. Он непосредственно влияет на долговечность и теплозащитные свойства ограждающих конструкций [1], а также на энергоэффективность применяемых теплоизоляционных материалов [2, 3].

Теплоизоляционный материал в составе ограждающей конструкции увлажняется по следующим механизмам: абсорбция водяного пара из наружного воздуха, сезонные движения влаги в виде пара и жидкости внутри конструкции, увлажнение косыми дождями и т.д. В процессе эксплуатации увлажненный теплоизоляционный материал подвергается циклическим климатическим воздействиям. При этом происходят фазовые переходы влаги в материале: пар конденсируется в воду, вода замерзает в лед и наоборот. Т.к. основным эффектом от использования теплоизоляционных материалов в составе ограждающих конструкций зданий является повышение теплозащитных характеристик конструкции, то под сроком эффективной эксплуатации следует понимать эксплуатационный период, в течение которого этот материал не изменит либо изменит в рамках допустимых пределов свои теплотехнические показатели. Поэтому прогнозирование срока эффективной эксплуатации включает в себя моделирование эксплуатационных условий минеральной ваты в составе ограждающих

конструкций с периодическим определением фактических теплофизических характеристик материала и последующий расчет значений теплотехнических показателей к концу прогнозируемого периода эксплуатации.

Настоящий отчет посвящен описанию исследований изменений теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации и расчету срока эффективной эксплуатации сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты производства ООО «ДорХан 21 век — Можайск», изготовленных в соответствии с ТУ 25.11.23.119-001-32946836-2019, в качестве сердечника у которых применяются минераловатные плиты марок: DoorHan Сэндвич С Оптима (плотностью 95 кг/м³), DoorHan Сэндвич С Стандарт (плотностью 105 кг/м³), DoorHan Сэндвич С Проф (плотностью 110 кг/м³).

1. Методика испытаний для расчета срока эффективной эксплуатации минераловатных теплоизоляционных материалов

1.1 Сущность метода испытаний

Согласно методике СТО НИИСФ РААСН, соответствующей методике ГОСТ Р 57418-2017, сущность метода заключается в том, что испытываемые материалы подвергались циклическим климатическим воздействиям, имитирующим условия эксплуатации в ограждающих конструкциях, после чего определялись изменения теплофизических характеристик материала (теплопроводности в сухом состоянии и термического сопротивления). По результатам измерений теплофизических характеристик оценивался срок эффективной эксплуатации материала до 50 лет включительно.

Циклические климатические воздействия на испытываемые образцы заключались в увлажнении образцов до предельно допустимого значения влажности минеральной ваты в строительной конструкции и в последующем периодическом замораживании и оттаивании образцов.

Два цикла замораживания-оттаивания приравнялись одному условному году эффективной эксплуатации материала. Образцы материалов испытывались через 30, 60, 100 циклов замораживания-оттаивания, что соответствовало 15, 30, 50 условным годам эффективной эксплуатации.

1.2 Испытательное оборудование и средства контроля

Для проведения испытаний применялось следующее оборудование и средства измерений:

- сушильный шкаф LOIP LF-60/350-GG1, температурный диапазон испытаний до +350 °С;
- весы лабораторные ВМ 510Д, класс точности лабораторных весов - высокий (II), СП №С-ДВЗ/08-10-2021/101181295 до 07.10.2022 г.;
- прибор для измерения теплопроводности Lambda-Meter EP500e, СП № С-В/28-12-2021/123343039 до 27.12.2022 г.;
- климатическая камера СМ -30/100-120 ТХ, температурный диапазон испытаний от -30 °С до +100 °С;

- линейка измерительная металлическая, 0-300 мм, СП № С-АКЗ/14-02-2022/132219545 до 13.02.2023 г.;
- штангенциркуль ШЦ-1-150 0,05, СП № С-АКЗ/14-02-2022/132219548 до 13.02.2023 г.;
- регистратор температуры и влажности Testo-174Н, СП №С-АКЗ/30-09-2021/102379834 до 29.09.2022 г.

1.3 Подготовка к испытаниям

Испытания срока эффективной эксплуатации выполнялись на образцах минераловатных плит в виде квадратных пластин со стороной 300 мм.

Толщина образцов составляла от 40 до 50 мм.

Образцы высушивались в лабораторном сушильном шкафу до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$. Образец считался высушенным до постоянной массы, если разница между двумя последовательными измерениями массы после очередного взвешивания не превышала 0,1% за период не менее 0,5 часа. По ГОСТ 17177 определялась масса каждого образца в сухом состоянии, m_0 , кг.

Максимальная расчетная влажность, соответствующая условиям эксплуатации Б согласно табл. теплотехнических показателей (приложение Т) СП 50.13330 [4], для всех типов минераловатных изоляционных материалов (из каменного и стеклянного волокна) по массе составляет: $w_B=5\%$. Для проведения испытаний на определение срока эффективной эксплуатации данное значение влажности увеличивалось на величину предельно допустимого приращения влажности в материале $\Delta w=3\%$ (согласно таблице 10 [4]). Опытные образцы материалов до проведения циклов замораживания-оттаивания увлажнялись до значения экспериментальной влажности с точностью $\pm 2\%$. Т.е. влажность по массе испытуемых образцов (экспериментальная) составляла

$$w_3 = (w_B + \Delta w) \pm 2\% = (8 \pm 2)\%$$

Образцы увлажнялись способом введения воды в образец материала с

помощью шприца. Рассчитывался необходимый для введения объем воды для достижения массы образца, близкой к требуемой (экспериментальной). Данный объем вводится в образец по 0,1-0,25 см³ в различные точки образца по всем граням с различной глубиной проникновения иглы шприца.

После достижения требуемого (экспериментального) значения влажности (требуемой массы) образцы заворачивались в полиэтиленовую водонепроницаемую пленку толщиной не менее 0,02 мм по ГОСТ 10354, запаивались по всем граням и помещались в сушильный электрошкаф на 24 ч для равномерного распределения влаги внутри образца. В сушильном электрошкафу поддерживалась температура 65 °С. Во время выдержки в сушильном шкафу образцы переворачивались каждые 4 ч с грани на грань (лицевую либо торцевую). После этого образцы выдерживались 24 ч при комнатной температуре: 12 ч на одной лицевой грани, 12 ч на другой (рис. 1.1).

После выдерживания опытных образцов в сушильном электрошкафу проводилось контрольное взвешивание с учетом массы полиэтиленовой пленки.

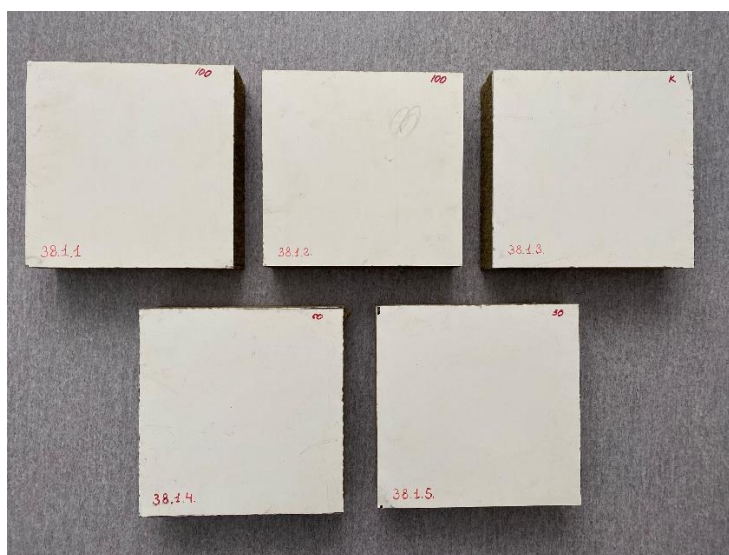


Рис. 1.1 Подготовка образцов к испытаниям

1.4 Проведение испытаний

Для всех образцов определялась теплопроводность в сухом состоянии и термическое сопротивление при средней температуре 25 °С по ГОСТ 7076.

Результаты испытаний до проведения циклов замораживания-оттаивания заносятся в протоколы.

После увлажнения опытные образцы равномерно размещались по всему рабочему объему климатической камеры с промежутками между ними таким образом, чтобы обеспечить движение воздушных потоков и исключить образование застойных зон (рис. 1.2).

Температура замораживания образцов составляла минус 20 ± 2 °С. Продолжительность замораживания образцов составляла не менее 6 ч. Такая температура замораживания была обоснована экспериментальным фактом фазового перехода воды от жидкого состояния к твердому в порах всех типов строительных материалов при температуре ниже минус 15 °С. Оттаивание образцов осуществлялось при температуре воздуха плюс 20 ± 2 °С. Продолжительность времени оттаивания составляла не менее 6 ч.

Через 30, 60, 100 циклов замораживания-оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) отбиралось по 3 опытных образца. Отобранные образцы освобождались от полиэтиленовой пленки и высушивались до постоянной массы. После этого определялась теплопроводность и термическое сопротивление. Соответствующие результаты испытаний заносятся в протокол.



Рис. 1.2 Опытные образцы в климатической камере

1.5 Обработка результатов испытаний

За результат каждого испытаний (контрольного, после 15, 30 и 50 условных годовых циклов) по определению теплопроводности и термического сопротивления принимались среднеарифметические значения результатов испытания всех 3-х образцов.

Средние значения теплопроводности в сухом состоянии после контрольного испытания, после 15, 30 и 50 условных годовых циклов наносят на график зависимости теплопроводности, λ , Вт/(м·°С) от количества условных годовых циклов, N , год. Средние значения термического сопротивления после контрольного испытания, после 15, 30 и 50 условных годовых циклов наносились на график зависимости термического сопротивления, R , (м²·°С)/Вт от количества условных годовых циклов, N , год.

Построенные графики аппроксимировались линейной функцией:

$$\lambda(N) = \lambda_0 + k_1 \cdot N, \quad (1.1)$$

$$R(N) = R_0 + k_2 \cdot N, \quad (1.2)$$

где λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии после контрольных испытаний (до проведения циклов замораживания-оттаивания), Вт/(м·°С); R_0 – термическое сопротивление образца после контрольных испытаний (до проведения циклов замораживания-оттаивания), (м²·°С)/Вт.

Угловые коэффициенты аппроксимирующих прямых, k_1 и k_2 , определялись методами регрессионного анализа. Угловые коэффициенты, k_1 и/или k_2 , могли быть равны нулю в случае, если в ходе испытаний теплопроводность (термическое сопротивление) материала (образца) не менялась после проведения циклов замораживания-оттаивания.

1.6 Оценка результатов испытаний

Определялся расчетный срок эксплуатации, N_p , год, при котором теплопроводность увеличивается не более, чем на 5 % относительно

результатов контрольных испытаний, а термическое сопротивление не более, чем на 10 %, по формуле

$$N_{p1} = \frac{0,05\lambda_0}{k_1}, \quad (1.3)$$

$$N_{p2} = -\frac{0,1R_0}{k_2}, \quad (1.4)$$

$$N_p = \min(N_{p1}, N_{p2}). \quad (1.5)$$

Значение расчетного срока эксплуатации, N_p , округлялось до целого числа. Расчетный срок эксплуатации, N_{p1} или N_{p2} , не определялся, если $k_1=0$ или $k_2=0$.

Срок эффективной эксплуатации $N_э$, год, минераловатного изоляционного материала приравнивался к количеству проведенных условных годовых циклов испытаний, N , год, если в процессе испытаний теплопроводность материала увеличилась не более, чем на 5 % относительно результатов контрольных испытаний либо вообще не изменилась, т.е. если $N \leq N_{p1}$ либо $k_1=0$, и термическое сопротивление уменьшилась не более, чем на 10 % относительно результатов контрольных испытаний либо вообще не изменилась, т.е. если $N \leq N_{p2}$ либо $k_2=0$.

Срок эффективной эксплуатации $N_э$, год, минераловатного изоляционного материала принимался равным расчетному сроку эксплуатации, N_p , год, если в процессе испытаний теплопроводность материала увеличилась более чем на 5 % или термическое сопротивление уменьшалось более чем на 10 % относительно результатов контрольных испытаний, т.е. если $N > N_p$

$$N_э = \begin{cases} N, & \left\{ \begin{array}{l} N \leq N_{p1} \text{ либо } k_1 = 0 \\ N \leq N_{p2} \text{ либо } k_2 = 0 \end{array} \right. \\ N_p, & N > N_p \end{cases}. \quad (1.6)$$

Описанная методика испытаний для расчета срока эффективной эксплуатации минераловатных теплоизоляционных материалов полностью соответствовала методике, изложенной в СТО НИИСФ РААСН,

соответствующей ГОСТ Р 57418-2017 «Материалы и изделия минераловатные теплоизоляционные. Метод определения срока эффективной эксплуатации».

2. Результаты исследований изменения теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации

Осредненные результаты испытаний теплофизических характеристик: контрольных, после 30, 60, 100 циклов замораживания и оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) образцов сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты производства ООО «ДорХан 21 век - Можайск» представлены в табл. 2.1-.

Табл. 2.1 Результаты испытаний образцов сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты производства ООО «ДорХан 21 век - Можайск»

Этап испытаний	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25} , Вт/(м·°C)	Термическое сопротивление, R_0 , (м ² ·°C)/Вт
Контрольные испытания	0,044	1,902
Испытания после 30 циклов замораживания и оттаивания (15 условных годовых циклов)	0,044	1,901
Испытания после 60 циклов замораживания и оттаивания (30 условных годовых циклов)	0,045	1,855
Испытания после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов)	0,046	1,753

Фото образцов сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты производства ООО «ДорХан 21 век - Можайск» в процессе испытаний представлены на рис. 2.1-2.4.

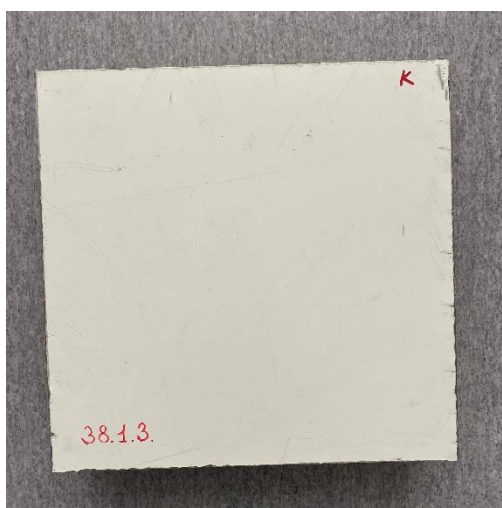


Рис. 2.1 Вид контрольного образца

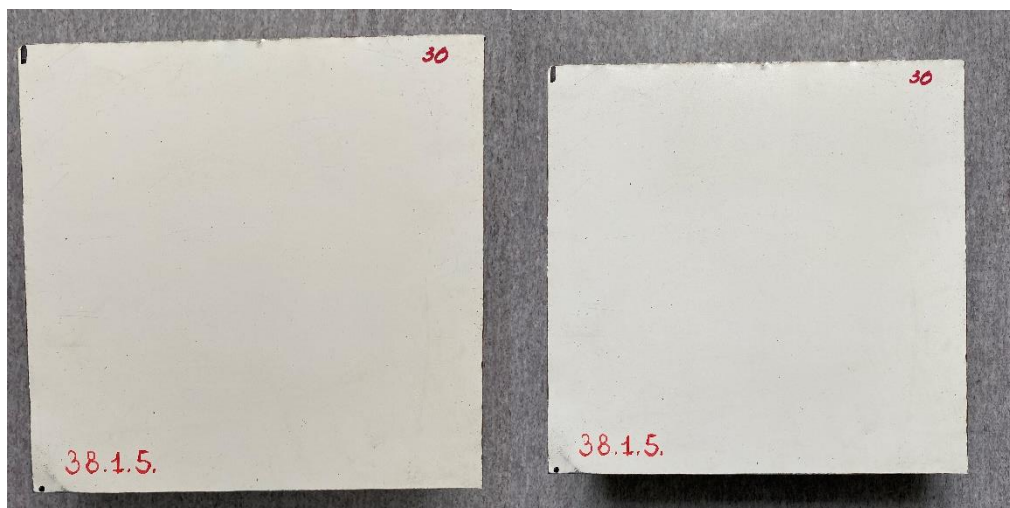


Рис. 2.2 Вид образца до (слева) и после (справа) прохождения 30 циклов замораживания и оттаивания

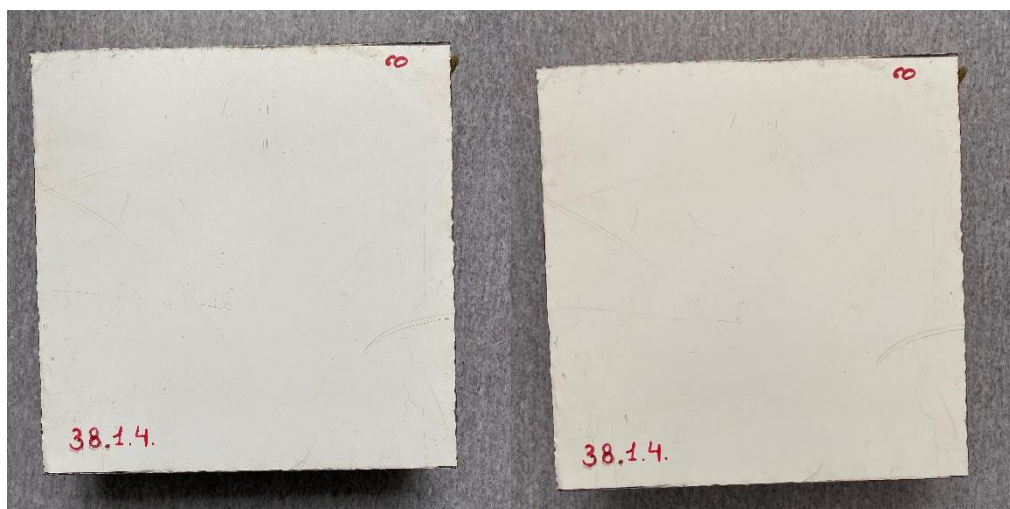


Рис. 2.3 Вид образца до (слева) и после (справа) прохождения 60 циклов замораживания и оттаивания



Рис. 2.4 Вид образцов до (слева) и после (справа) прохождения 100 циклов замораживания и оттаивания

3. Расчет срока эффективной эксплуатации по изменению теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации

Расчет срока эффективной эксплуатации проводился по методике СТО НИИСФ РААСН, соответствующей методике ГОСТ Р 57418-2017 «Материалы и изделия минераловатные теплоизоляционные. Метод определения срока эффективной эксплуатации».

Были построены зависимости теплопроводности, λ , Вт/(м·°С), и термического сопротивления образцов, R , (м²·°С)/Вт, от количества условных годовых циклов, N , год, для сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты производства ООО «ДорХан 21 век - Можайск». Данные зависимости представлены на рис. 3.1 и 3.2.

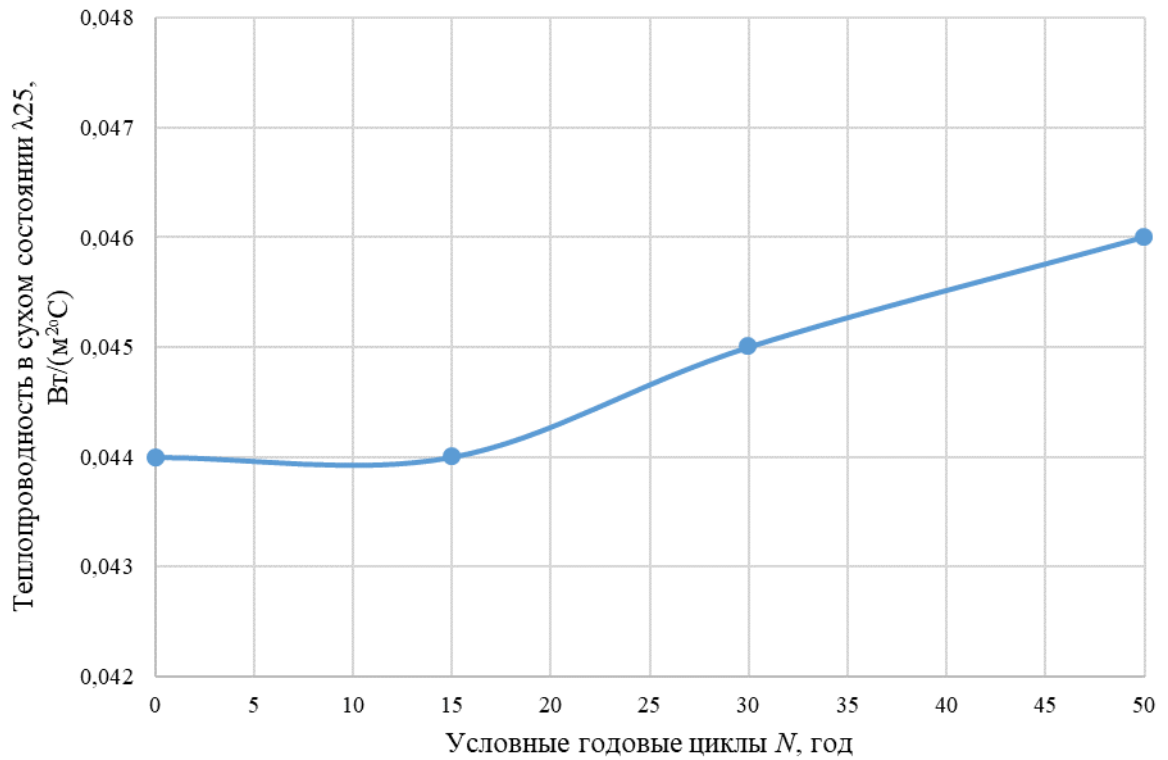


Рис. 3.1 Изменение теплопроводности образцов сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты при моделировании условий эксплуатации

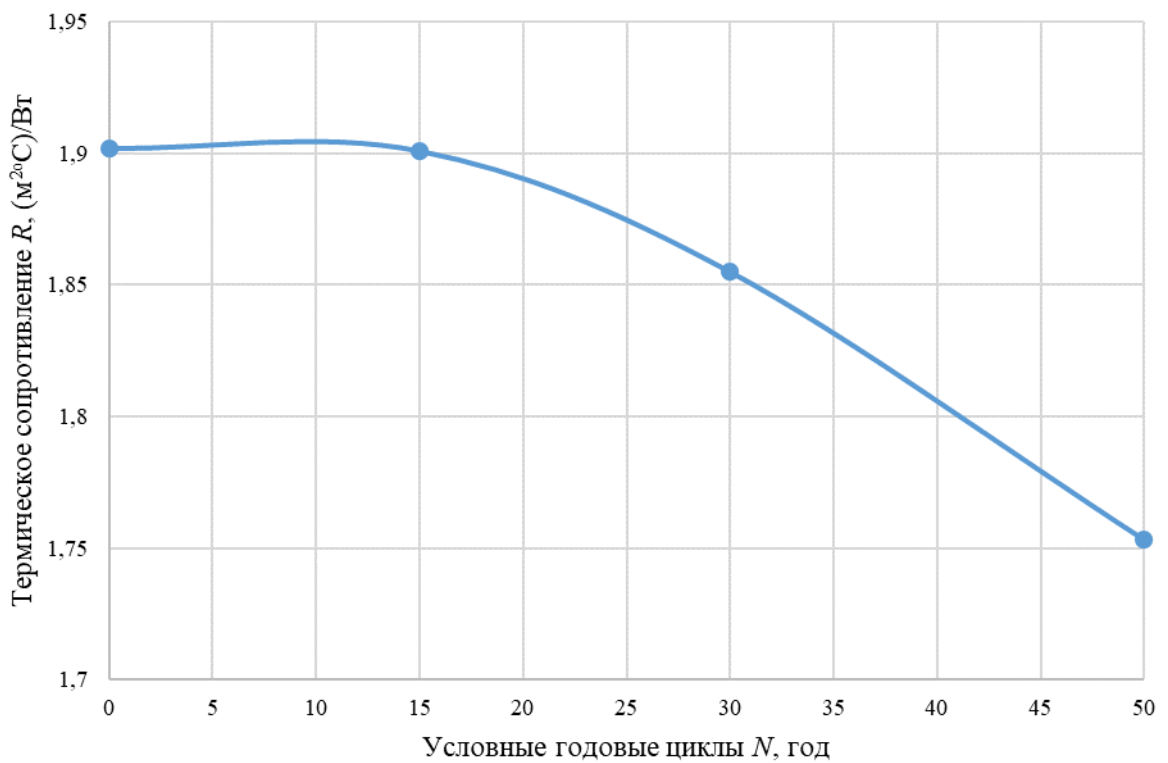


Рис. 3.2 Изменение термического сопротивления образцов сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты при моделировании условий эксплуатации

По результатам анализа результатов проведенных исследований были определены расчетные сроки эксплуатации, N_p , год, при которых теплопроводность испытанных образцов увеличивается не более чем на 5 % относительно результатов контрольных испытаний, а термическое сопротивление образцов уменьшается не более чем на 10 %. Они составили 50 и более лет. Таким образом, по методике СТО НИИСФ РААСН, соответствующей ГОСТ Р 57418-2017, срок эффективной эксплуатации N_e был приравнен к количеству проведенных условных годовых циклов испытаний N , т.е. к 50 годам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований теплофизических характеристик сэндвич-панелей производства ООО «ДорХан 21 век — Можайск», изготовленных по ТУ 25.11.23.119-001-32946836-2019, у которых в качестве сердечника применяются минераловатные плиты марок: DoorHan Сэндвич С Оптима (плотностью 95 кг/м³), DoorHan Сэндвич С Стандарт (плотностью 105 кг/м³), DoorHan Сэндвич С Проф (плотностью 110 кг/м³), при моделировании условий эксплуатации установлено, что теплопроводность в сухом состоянии испытанных материалов после проведенных 100 циклов замораживания-оттаивания, соответствующих 50-ти условным годовым циклам, увеличивается не более, чем на 5 % от результатов контрольных испытаний. При этом термическое сопротивление образцов уменьшается после проведенных испытаний не более чем на 10 % от результатов контрольных испытаний.

По методике СТО НИИСФ РААСН, соответствующей методике ГОСТ Р 57418-2017 «Материалы и изделия минераловатные теплоизоляционные. Метод определения срока эффективной эксплуатации», срок эффективной эксплуатации сэндвич-панелей с сердечником из минеральной ваты производства ООО «ДорХан 21 век - Можайск» испытанных марок составляет 50 лет.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гагарин В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. Москва. 2000. 396 с.
2. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 7-9.
3. Пастушков П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Москва. 2013. 169 с.
4. СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»