МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО – КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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.
«20» 12 20 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме:

«Комплексные исследования теплотехнических показателей и оценка срока эффективной эксплуатации материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

Договор № 12230(2017) от «21» сентября 2017 г.

Главный научный сотрудник лаб.
строительной теплофизики,
д.т.н., профессор — В.Г. Гагарин

Ответственный исполнитель:
с.н.с., к.т.н. — П.П. Пастушков

Москва, 2017 г.

Список исполнителей:

Гагарин В.Г. главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор

Пастушков П.П. старший научный сотрудник, кандидат технических наук

Павленко Н.В. старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент

Кашуркин А.Ю. младший научный сотрудник

Реутова Н.А. инженер

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1. Исследования теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации и расчет срока эффективной эксплуатации 7

1.1 Методика испытаний для расчета срока эффективной эксплуатации минераловатных теплоизоляционных материалов 7

1.2 Результаты исследований теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» 12

1.3 Обработка результатов исследований теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» 20

1.4 Заключение по разделу 1 21

2. Исследование сорбционной влажности материалов минераловатных теплоизоляционных 23

2.1. Методика исследований сорбционной влажности 23

2.2. Результаты исследований сорбционной влажности материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» 25

3. Исследования теплопроводности материалов минераловатных теплоизоляционных в сухом состоянии и при эксплуатационных условиях 26

3.1. Методика экспериментальных исследований теплопроводности 26

3.2. Результаты экспериментальных исследований теплопроводности материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» 27

3.3. Методика определения расчетных значений теплопроводности 28

3.4. Результаты определения расчетных значений теплопроводности материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» 29

3.5. Результаты экспериментальных исследований теплопроводности при высокой температуре материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» 30

4. Исследования паропроницаемости 31

4.1. Методика исследования паропроницаемости 31

4.2. Результаты исследований паропроницаемости материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» 32

5. Исследования воздухопроницаемости 33

5.1 Методика исследования воздухопроницаемости 33

5.2. Результаты исследований воздухопроницаемости материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» 35

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 40

Список использованных источников 41

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 так же на энергоэффективность применяемых теплоизоляционных материалов [2, 3].

Теплоизоляционный материал в составе ограждающей конструкции увлажняется по следующим механизмам: абсорбция водяного пара из наружного воздуха, сезонное 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 комплексным исследованиям теплотехнических показателей и оценке срока эффективной эксплуатации материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия», производимых по следующим техническим условиям:

- Изделия теплозвукоизоляционные из минерального волокна URSA GEO ТУ 2399-012-71451657-2016;
- Изделия теплозвукоизоляционные из минерального волокна URSA TERRA ТУ 2399-013-71451657-2016;
- Изделия теплозвукоизоляционные из минерального волокна URSA PUREONE ТУ 2399-014-71451657-2016.

1. Исследования теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации и расчет срока эффективной эксплуатации

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

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 испытуемые 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 приравнивались 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.

Для проведения испытаний применялось следующее оборудование и средства измерений:

- климатическая камера СМ -30/100-120 ТХ, температурный диапазон испытаний от -30°С до +100°С с точностью ± 1°С;
- климатическая камера СМ 5/100-120 ТВО, температурный диапазон испытаний от +5 °С до +100 °С, диапазон установки относительной влажности воздуха от 40% до 95% с точностью ± 1°С, ± 2%;
- измеритель теплопроводности ИТП-МГ4 «250» (свидетельство о поверке № 20536/16, выдано 4.10.2016 г., действительно до 3.10.2018 г.);
- лабораторный сушильный электрошкаф LOIP LF-60/350-GG1, температурный диапазон испытаний до +110 °С;

– весы лабораторные ВМ-510Д, класс точности лабораторных весов - высокий (II) (свидетельство о поверке №229621, выдано 16.06.2016 г., действительно до 15.06.2017 г.);
– измерительные металлические линейки по ГОСТ 427;
– штангенциркули ГОСТ 166;
– термометры по ГОСТ 112.

Испытания срока эффективной эксплуатации выполнялись на образцах минераловатных материалов в виде квадратных пластин со стороной 250 мм. Толщина образцов составляла от 30 до 50 мм.

Образцы высушивались в лабораторном сушильном шкафу до постоянной массы при температуре (105 ± 5) °С. 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: $w_Б$=5%. Для проведения испытаний на определение срока эффективной эксплуатации данное значение влажности увеличивалось на величину предельно допустимого приращения влажности в материале Δw=3% (согласно таблице 10 [4]). Опытные образцы материалов до проведения циклов замораживания-оттаивания увлажнялись до значения экспериментальной влажности с точностью ± 2%. Т.е. влажность по массе испытуемых образцов (экспериментальная) составляла:

$$w_э = (w_Б + \Delta w) \pm 2\% = (8 \pm 2)\%.$$

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 вводился в образец по 0,1-0,25 см^3 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 ^{o}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

Для всех образцов определялась теплопроводность в сухом состоянии при 25 ^{o}С и термическое сопротивление по ГОСТ 7076. Результаты испытаний до проведения циклов замораживания-оттаивания заносились 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).

Рис. 1.2 Проведение испытаний

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 заносились в протокол.

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 наносились 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, (м^2·^{o}С)/Вт от количества условных годовых циклов, N, год. Построенные графики аппроксимировались линейной функцией:

$$\lambda(N) = \lambda_0 + k_1 \cdot N\,, \tag{1.1}$$

$$R(N) = R_0 + k_2 \cdot N\,, \tag{1.2}$$

где λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии после контрольных испытаний (до проведения циклов замораживания-оттаивания), Вт/(м·^{o}С);
R_0 – термическое сопротивление образца после контрольных испытаний (до проведения циклов замораживания-оттаивания), (м^2·^{o}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.

Определялся расчетный срок эксплуатации, $N_р$, год, при котором теплопроводность увеличивается не более, чем на 5 % относительно результатов контрольных испытаний, а термическое сопротивление уменьшается не более, чем на 10 %, по формуле

$$N_{р1} = \frac{0{,}05\lambda_0}{k_1}\,, \tag{1.3}$$

$$N_{р2} = -\frac{0{,}1R_0}{k_2}\,, \tag{1.4}$$

$$N_р = \min(N_{р1}, N_{р2})\,. \tag{1.5}$$

Значение расчетного срока эксплуатации, $N_р$, округлялось до целого числа. Расчетный срок эксплуатации, $N_{р1}$ или $N_{р2}$, 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 $N \leq N_{р1}$ либо $k_1=0$, и термическое сопротивление уменьшилось не более, чем на 10 % относительно результатов контрольных испытаний либо вообще не изменилось, т.е. если $N \leq N_{р2}$ либо $k_2=0$.

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

$$N_э = \begin{cases} N, \begin{cases} N \leq N_{р1} \text{ либо } k_1 = 0 \\ N \leq N_{р2} \text{ либо } k_2 = 0 \end{cases} \\ N_р, N > N_р \end{cases}. \quad (1.6)$$

Описанная методика испытаний для расчета срока эффективной эксплуатации минераловатных теплоизоляционных материалов производства ООО «УРСА Евразия» полностью соответствовала методике ГОСТ Р 57418 [5].

1.2. Результаты исследований теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

1) Марки испытываемых материалов: URSA 40 RAlu, URSA 44 RN, URSA 42 RN, URSA 41 RN, URSA 40 RN

Осредненные результаты испытаний: контрольных, после 30, 60, 100 циклов замораживания и оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) по определению теплопроводности и термического сопротивления образцов минераловатных материалов марки URSA 40 RAlu представлены в табл. 1.1.

Табл. 1.1 Результаты испытаний URSA 40 RAlu

	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, R_0, (м^2·°С)/Вт
Контрольные испытания	0,042	1,216
Испытания после 30 циклов замораживания и оттаивания (15 условных годовых циклов)	0,042	1,184
Испытания после 60 циклов замораживания и оттаивания (30 условных годовых циклов)	0,042	1,164
Испытания после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов)	0,042	1,153

Вид образцов материалов марки URSA 40 RAlu после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов) в увлажненном состоянии до предельно допустимого значения влажности, последующей сушки и определения теплофизических характеристик представлен на рис. 1.3.

Рис. 1.3 Вид образцов URSA 40 RAlu после испытаний

Осредненные результаты испытаний: контрольных, после 30, 60, 100 циклов замораживания и оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) по определению теплопроводности и термического сопротивления образцов минераловатных материалов марки URSA 44 RN представлены в табл. 1.2.

Табл. 1.2 Результаты испытаний URSA 44 RN

	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, R_0, (м^2·°С)/Вт
Контрольные испытания	0,045	1,125
Испытания после 30 циклов замораживания и оттаивания (15 условных годовых циклов)	0,045	1,107
Испытания после 60 циклов замораживания и оттаивания (30 условных годовых циклов)	0,045	1,098
Испытания после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов)	0,045	1,071

Для марок материалов URSA 42 RN, URSA 41 RN, URSA 40 RN получены аналогичные результаты испытаний, что и для URSA 40 RAlu.

2) ***Марки испытываемых материалов: URSA 37 RN, URSA 39 PN, URSA 37 RAlu, URSA 37 PN***

Осредненные результаты испытаний: контрольных, после 30, 60, 100 циклов замораживания и оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) по определению теплопроводности и термического сопротивления образцов минераловатных материалов марки URSA 37 R представлены в табл. 1.3.

Табл. 1.3 Результаты испытаний URSA 37 RN

	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, R_0, (м^2·°С)/Вт
Контрольные испытания	0,040	1,071
Испытания после 30 циклов замораживания и оттаивания (15 условных годовых циклов)	0,042	1,062
Испытания после 60 циклов замораживания и	0,042	1,051

оттаивания (30 условных годовых циклов)		
Испытания после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов)	0,042	1,046

Вид образцов материалов марки URSA 37 RN после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов) в увлажненном состоянии до предельно допустимого значения влажности, последующей сушки и определения теплофизических характеристик представлен на рис. 1.4.

Рис. 1.4 Вид образцов URSA 37 R после испытаний

Для марок материалов URSA 39 PN, URSA 37 RAlu, URSA 37 PN получены аналогичные результаты испытаний, что и для URSA 37 RN.

3) Марки испытываемых материалов: URSA 34 PN, URSA 34 P FB, URSA 35 QN, URSA 34 RN, URSA 34 RAlu

Осредненные результаты испытаний: контрольных, после 30, 60, 100 циклов замораживания и оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) по определению теплопроводности и термического сопротивления образцов минераловатных плит марки URSA 34 P FB представлены в табл. 1.4.

Табл. 1.4 Результаты испытаний URSA 34 P FB

	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, R_0, (м^2·°С)/Вт
Контрольные испытания	0,037	1,216
Испытания после 30 циклов замораживания и оттаивания (15 условных годовых циклов)	0,037	1,184
Испытания после 60 циклов замораживания и оттаивания (30 условных годовых циклов)	0,038	1,184
Испытания после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов)	0,038	1,153

Вид образцов материалов марки URSA 34 P FB после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов) в увлажненном состоянии до предельно допустимого значения влажности, последующей сушки и определения теплофизических характеристик представлен на рис. 1.5.

Рис. 1.5 Вид образцов URSA 34 P FB после испытаний

Осредненные результаты испытаний: контрольных, после 30, 60, 100 циклов замораживания и оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) по

определению теплопроводности и термического сопротивления образцов минераловатных плит марки URSA 34 PN представлены в табл. 1.5.

Табл. 1.5 Результаты испытаний URSA 34 PN

	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, R_0, (м^2·°С)/Вт
Контрольные испытания	0,035	1,323
Испытания после 30 циклов замораживания и оттаивания (15 условных годовых циклов)	0,035	1,274
Испытания после 60 циклов замораживания и оттаивания (30 условных годовых циклов)	0,036	1,250
Испытания после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов)	0,036	1,250

Для марок материалов URSA 35 QN, URSA 34 RN, URSA 34 RAlu получены аналогичные результаты испытаний, что и для URSA 34 P FB.

4) Марки испытываемых материалов: URSA 32 PN, URSA 32 PN ER, URSA 32 P FB

Осредненные результаты испытаний: контрольных, после 30, 60, 100 циклов замораживания и оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) по определению теплопроводности и термического сопротивления образцов минераловатных плит марки URSA 32 PN представлены в табл. 1.6.

Табл. 1.6 Результаты испытаний URSA 32 PN

	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, R_0, (м^2·°С)/Вт
Контрольные испытания	0,034	1,323
Испытания после 30 циклов замораживания и оттаивания (15 условных годовых циклов)	0,035	1,285

Испытания после 60 циклов замораживания и оттаивания (30 условных годовых циклов)	0,035	1,250
Испытания после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов)	0,035	1,216

Вид образцов плит марки URSA 32 PN после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов) в увлажненном состоянии до предельно допустимого значения влажности, последующей сушки и определения теплофизических характеристик представлен на рис. 1.6.

Рис. 1.6 Вид образцов URSA 32 P после испытаний

Для марок материалов URSA 32 PN ER, URSA 32 PN FB получены аналогичные результаты испытаний, что и для URSA 32 PN.

5) ***Марки испытываемых материалов: URSA 30 PN, URSA 31 PN, URSA 31 PN ER, URSA 30 PN ER***

Осредненные результаты испытаний: контрольных, после 30, 60, 100 циклов замораживания и оттаивания (15, 30 и 50 условных годовых циклов) по определению теплопроводности и термического сопротивления образцов минераловатных плит марки URSA 30 PN представлены в табл. 1.7.

Табл. 1.7 Результаты испытаний URSA 30 PN

	Теплопроводность в сухом состоянии, λ_{25}, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, R_0, (м^2·°С)/Вт
Контрольные испытания	0,030	1,077
Испытания после 30 циклов замораживания и оттаивания (15 условных годовых циклов)	0,030	1,027
Испытания после 60 циклов замораживания и оттаивания (30 условных годовых циклов)	0,031	1,016
Испытания после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов)	0,031	0,987

Вид образцов плит марки URSA 30 PN после 100 циклов замораживания и оттаивания (50 условных годовых циклов) в увлажненном состоянии до предельно допустимого значения влажности, последующей сушки и определения теплофизических характеристик представлен на рис. 1.7.

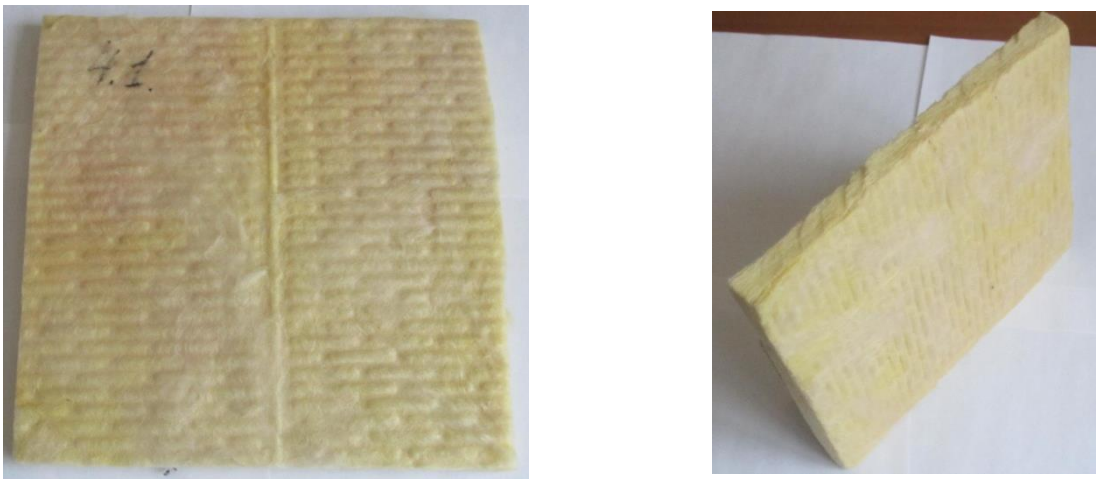


Рис. 1.7 Вид образцов URSA 30 PN после испытаний

Для марок материалов URSA 31 PN, URSA 31 PN ER, URSA 30 PN ER получены аналогичные результаты испытаний, что и для URSA 30 PN.

1.3. Обработка результатов исследований теплофизических характеристик при моделировании условий эксплуатации материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

По анализу результатов исследований все испытанные марки были пронумерованы (или разбиты на группы) с соответствующими номерами от 1 до 5. Марки материалов, входящих в каждую группу, представлены в табл. 1.8.

Табл. 1.8 Группировка марок материалов по результатам исследований

Номер группы	Марки минераловатных материалов
1	URSA 40 RAlu, URSA 42 RN, URSA 41 RN, URSA 40 RN
2	URSA 44 RN
3	URSA 37 RN, URSA 39 PN, URSA 37 RAlu, URSA 37 PN
4	URSA 34 P FB, URSA 35 QN, URSA 34 RN, URSA 34 RAlu
5	URSA 34 PN
6	URSA 32 PN, URSA 32 PN ER, URSA 32 PFB
7	URSA 30 PN, URSA 31 PN, URSA 31 PN ER, URSA 30 PN ER

Анализ результатов для всех испытанных марок показал, что теплопроводность в сухом состоянии материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия» при моделировании условий эксплуатации увеличивается не более чем на 3% от результата контрольных испытаний либо вообще не увеличивается.

Согласно методике [5] были построены зависимости термического сопротивления образцов испытанных марок, R, (м$^2\cdot$°С)/Вт от количества условных годовых циклов, N, год (рис. 1.8).

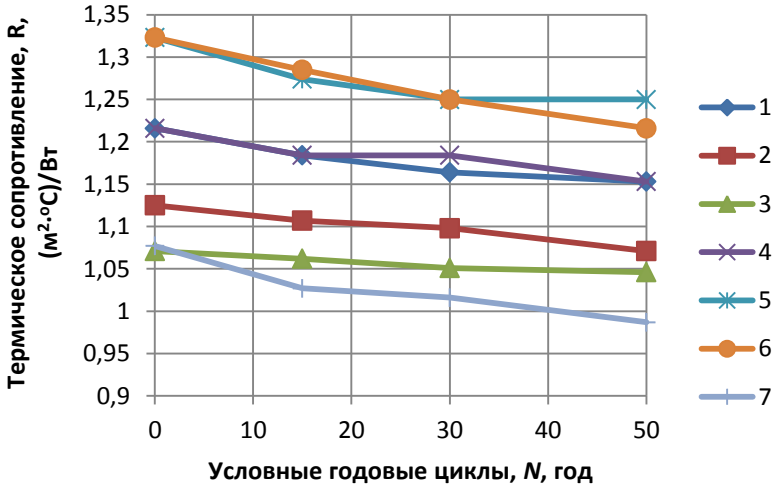


Рис. 1.8 Зависимость термического сопротивления образцов от условных годовых циклов

Были определены расчетные сроки эксплуатации, $N_р$, год, при котором теплопроводность материалов увеличивается не более чем на 5 % относительно результатов контрольных испытаний, а термическое сопротивление образцов уменьшается не более чем на 10 %, по формулам (1.3)-(1.5). Для всех групп материалов он составил 50 и более лет. Соответственно по формуле (1.6) срок эффективной эксплуатации $N_э$, год, был приравнен к количеству проведенных условных годовых циклов испытаний, N, год, т.е. к 50 годам.

1.4. Заключение по разделу 1

По результатам проведенных исследований теплофизических характеристик материалов минераловатных теплоизоляционных URSA 44 RN, URSA 40 RAlu, URSA 42 RN, URSA 41 RN, URSA 40 RN, URSA 37 RN, URSA 39 PN, URSA 37 RAlu, URSA 37 PN, URSA 34 PN, URSA 34 P FB, URSA 35 QN, URSA 34 RN, URSA 34 RAlu, URSA 32 PN, URSA 32 PN ER, URSA 32 P FB, URSA 30 PN, URSA 31 PN, URSA 31 PN ER, URSA 30 PN ER производства ООО «УРСА Евразия» (ТУ 2399-012-71451657-2016, ТУ 2399-013-71451657-2016, ТУ 2399-014-71451657-2016) при моделировании условий эксплуатации установлено, что теплопроводность в сухом состоянии испытанных материалов увеличивается не более чем на 5% после

проведенных 100 циклов замораживания-оттаивания в увлажненном состоянии до предельно допустимого значения влажности, соответствующих 50-ти условным годовым циклам. При этом термическое сопротивление образцов уменьшается после проведенных испытаний не более чем на 8% от результатов контрольных испытаний.

По методике ГОСТ Р 57418-2017 «Материалы и изделия минераловатные теплоизоляционные. Метод определения срока эффективной эксплуатации» срок эффективной эксплуатации испытанных материалов составляет 50 лет.

2. Исследование сорбционной влажности материалов минераловатных теплоизоляционных

2.1. Методика исследований сорбционной влажности

В строительной теплофизике изотермы сорбции водяного пара строительных материалов используются при рассмотрении вопросов, связанных с влажностным состоянием материалов в конструкциях. Эти же изотермы сорбции успешно используется также при исследовании характеристик пористой структуры материалов. Начальный участок изотермы позволяет определить площадь удельной поверхности материала, а вся изотерма сорбции – распределение мезопор (поры радиусом от 16 до приблизительно 1000 Å (1 Å = 0,1 нм)) по размерам. В свою очередь, характеристики пористой структуры могут быть использованы для прогнозирования эксплуатационных свойств материалов. Современная теория сорбционного увлажнения строительных материалов представлена в [1].

В практике исследования сорбционных свойств строительных материалов известно три экспериментальных метода:

- вакуумный, при котором водяной пар сорбируется образцом материала в условиях вакуума;
- динамический, при котором сорбция водяного пара происходит при омывании образца материала потоком воздуха с заданной влажностью;
- эксикаторный, при котором сорбция водяного пара происходит в воздухе, находящемся в эксикаторе; влажность этого воздуха обеспечивается раствором соли или кислоты в эксикаторе.

Эксикаторный метод положен в основу методики ГОСТ 24816 [7]. В соответствии с методикой [7] изотермы сорбции исследуемых материалов определялись следующим образом. Образцы помещались в стеклянные бюксы. Образцы с бюксами высушивались при температуре 105±2 ^{o}C до постоянной массы. Затем открытые бюксы с образцами материала

помещались в эксикаторы с водным раствором серной кислоты различных концентраций, который создает в эксикаторах относительную влажность воздуха 80 и 97% (рис. 2.1 и 2.2). Бюксы с образцами материала периодически взвешивались до достижения равновесного влагосодержания образцов в бюксах. По разности масс бюкса с материалом с равновесным влагосодержанием и в сухом состоянии определялась влажность образцов, которая соответствовала относительной влажности воздуха в эксикаторе 80 и 97%.

Рис. 2.1 Исследования изотерм сорбции

Рис. 2.2 Бюксы с образцами материалов в эксикаторе

2.2. Результаты исследований сорбционной влажности материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

Результаты экспериментальных исследований сорбции водяного пара образцами материалов минераловатных теплоизоляционных URSA 37 PN, URSA 35 QN, URSA 34 PN, URSA 32 PN, URSA 30 PN представлены в табл. 2.1. Испытания проводились с 23.10.2017 г. по 12.12.2017 г. Для каждой марки данные получались путем осреднения результатов испытания на 3-х образцах.

Табл. 2.1 Результаты исследований сорбционной влажности

Марка	Сорбционная влажность, %, по массе, при температуре (20±2)°С и относительной влажности воздуха, %	
	80	97
URSA 37 PN	0,625	1,8
URSA 35 QN	0,57	2,1
URSA 34 PN	0,58	2,06
URSA 32 PN	0,44	1,69
URSA 30 PN	0,55	1,91

3. Исследования теплопроводности материалов минераловатных теплоизоляционных в сухом состоянии и при эксплуатационных условиях

3.1. Методика экспериментальных исследований теплопроводности

Методика исследований теплопроводности в сухом состоянии соответствует ГОСТ 7076 [6]. Сущность метода испытаний заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности этого теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца.

Эффективную теплопроводность теплоизоляционных материалов определяют по формуле:

$$\lambda_{эф} = \frac{\delta_0 \cdot q_{ср}}{\Delta t}, \qquad (3.1)$$

где δ_0 – толщина образца (высота рамки), м;

Δt – перепад температур на поверхностях образца, °С;

$q_{ср}$ – средняя плотность теплового потока, проходящего через образец, Вт/м^2.

Методика определения приращения теплопроводности на 1% влажности, Δλ, Вт/(м·°С·%) для последующего определения расчетной теплопроводности заключается в следующем:

– определяется теплопроводность материала при той влажности образцов, при которой они были доставлены на испытания, λ', Вт/(м·°С);
– образцы высушиваются до постоянной массы;
– определяется их влажность на момент первоначальных измерений теплопроводности, w', %;
– определяется теплопроводность в сухом состоянии, λ_0, Вт/(м·°С);
– рассчитывается приращение теплопроводности на 1% влажности, Δλ, Вт/(м·°С·%) по формуле: $\Delta\lambda = \frac{\lambda' - \lambda_0}{w'}$. (3.2)

3.2. Результаты экспериментальных исследований теплопроводности материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

Испытания проводились на 5-ти образцах плит минераловатных теплоизоляционных URSA 40 RN, URSA 40 RAlu, URSA 37 RN, URSA 36 PN, URSA 37 PN, URSA 34 PN, URSA 34 P FB, URSA 35 QN, URSA 34 RN, URSA 34 RAlu, URSA 32 PN, URSA 32 P FB, URSA 30 PN размерами 0,25х0,25 м на измерителе теплопроводности ИТП-МГ4 «250» (свидетельство о поверке № 20536/16, выдано 4.10.2016 г., действительно до 3.10.2018 г.) при средней температуре 10 ^{o}C и 25 ^{o}C в соответствии с методикой [6] в сухом состоянии и состоянии естественной влажности (равновесной с окружающим воздухом) с 24-го октября по 18-е декабря 2017г. За результат испытаний принимались среднеарифметические значения теплопроводности всех испытанных образцов. Для проведения испытаний так же использовалось следующее оборудование: сушильный шкаф LOIP LF-60/350-GG1, температурный диапазон испытаний до +110 °C; климатическая камера СМ 5/100-120 ТВО, температурный диапазон испытаний от +5 °C до +100 °C, диапазон установки относительной влажности воздуха от 40% до 95%; весы лабораторные ВМ-510Д, класс точности лабораторных весов - высокий (II) (свидетельство о поверке №229621).

Средние значения теплопроводности в сухом состоянии при средней температуре 10 ^{o}C, 25 ^{o}C и приращения теплопроводности на 1 % влажности представлены в табл. 3.1.

Табл. 3.1 Результаты исследований теплопроводности

Марка	Теплопроводность в сухом состоянии при средней температуре		Приращение теплопроводности на 1% влажности, Δλ, Вт/(м·°С·%)
	10 °С, λ_{10}, Вт/(м·°С)	25 °С, λ_{25}, Вт/(м·°С)	
URSA 40 RN	0,040	0,044	0,0018
URSA 40 RAlu	0,040	0,042	0,0017
URSA 37 RN	0,037	0,040	0,0017
URSA 36 PN	0,036	0,038	0,0015
URSA 37 PN	0,037	0,039	0,0016
URSA 34 PN	0,034	0,036	0,0014
URSA 34 P FB	0,034	0,037	0,0015
URSA 35 QN	0,036	0,038	0,0015
URSA 34 RN	0,034	0,037	0,0015
URSA 34 RAlu	0,034	0,036	0,0014
URSA 32 PN	0,032	0,034	0,0014
URSA 32 P FB	0,032	0,034	0,0014
URSA 30 PN	0,029	0,031	0,0012

3.3. Методика определения расчетных значений теплопроводности

Расчетная теплопроводность рассчитывается по формуле [3]:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \cdot w_э = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_э), \qquad (3.3)$$

где λ_0 – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С);

Δλ – приращение теплопроводности на 1% влажности, Вт/(м·°С·%);

$w_э$ – эксплуатационная влажность материала по массе, %;

$\eta = \Delta\lambda / \lambda_0$ – коэффициент теплотехнического качества, 1/%.

Для условий эксплуатации А и Б расчетная теплопроводность равна:

$$\lambda_А = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_А), \qquad (3.4\ а)$$

$$\lambda_Б = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_Б), \qquad (3.4\ б)$$

где $w_А$, $w_Б$ – расчетные влажности материалов для условий эксплуатации А и Б, соответственно.

В таблице теплотехнических показателей (приложение Т) СП 50.13330 [4] значения расчетных влажностей для условий эксплуатации А и Б для исследуемых материалов равны, соответственно, 2% и 5%.

При этом в современной практике назначения расчетной теплопроводности минераловатных материалов часто встречаются значения влажностей для условий эксплуатации А и Б, назначенные со ссылкой на методику из приложения Е СП 23-101 [8], несмотря на неоднозначность ее применения [9]. Согласно этой методике, значение расчетной влажности при условиях эксплуатации А принимается равным значению сорбционной влажности материала при относительной влажности воздуха 80%, а при условиях эксплуатации Б – при 97%, соответственно.

В настоящем разделе приведены расчеты теплопроводности для условий эксплуатации А и Б, соответствующие значениям эксплуатационной влажности в условиях по найденным значениям сорбционной влажности при 80% и 97% относительной влажности воздуха (по методике СП 23-101).

3.4. Результаты определения расчетных значений теплопроводности материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

Результаты определения расчетной теплопроводности по формулам (5а), (5б) по различным принимаемым значениям влажности в условиях эксплуатации А и Б представлены в табл. 3.2.

Табл. 3.2 Расчетные значения теплопроводности

Марка	Расчетная теплопроводность в эксплуатационных условиях, Вт/(м·°С), соответствующая значениям сорбционной влажности при 80% и 97% относительной влажности воздуха (по методике СП 23-101)	
	$\lambda_А$	$\lambda_Б$
URSA 37 PN	0,040	0,042
URSA 34 PN	0,037	0,038
URSA 35 QN	0,039	0,041
URSA 32 PN	0,036	0,037
URSA 30 PN	0,032	0,033

3.5. Результаты экспериментальных исследований теплопроводности при высокой температуре материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

Испытания при средней температуре 125 ^{o}C проводились на образцах материалов минераловатных теплоизоляционных URSA 40 RN, URSA 37 RN, URSA 34 RN, подготовленных в виде пластин размерами 0,3х0,3 м, на приборе GHP 456 Titan (свидетельство о поверке Н2413/1758-2016, действительно до 1 декабря 2017 года) в соответствии с методикой ГОСТ 7076-99 в защитной среде азота с 23-го по 30-е ноября 2017 г.

Средние значения теплопроводности в сухом состоянии при средней температуре 125 ^{o}C по результатам испытаний на 3-х образцах представлены в табл. 3.3

Табл. 3.3 Результаты исследований теплопроводности при 125 ^{o}C

Марка	Теплопроводность в сухом состоянии при средней температуре 125 ^{o}C, λ_{125}, Вт/(м·^{o}C)
URSA 40 RN	0,075
URSA 37 RN	0,071
URSA 34 RN	0,063

4. Исследования паропроницаемости

4.1. Методика исследования паропроницаемости

Экспериментальные исследования сопротивления паропроницанию слоев и паропроницаемости материалов проводилось по методике ГОСТ 25898 [11], которая соответствует известному методу «мокрой чашки». Испытание проводилось на трёх образцах в виде квадратных пластин со стороной 7 – 8 см. Толщина пластин составляла примерно 25 – 30 мм.

Образец материала устанавливался на сосуд с водой, который ставился в шкаф, с поддерживаемой постоянной температурой и влажностью в течение всего эксперимента. В процессе эксперимента производились периодические взвешивания сосуда с образцом. По изменению массы сосуда с образцом вычислялись значения плотности потока водяного пара через образец. Для расчёта сопротивления паропроницанию образца использовались найденные значения плотности потока водяного пара через образец и измеренные значения парциальных давлений водяного пара в воздухе в пространстве шкафа и в сосуде под образцом.

Сопротивление паропроницанию испытуемого образца вычислялось по формуле:

$$R_п = \frac{E - e}{\Delta m} \cdot \Delta z \cdot S - \frac{\delta_в}{\mu_в}, \qquad (4.1)$$

где $R_п$ – сопротивление паропроницанию образца, (м^2·ч·Па)/мг;

E – парциальное давление водяного пара в сосуде под образцом, Па;

e – парциальное давление водяного пара в пространстве шкафа над образцом, Па;

Δm – изменение массы сосуда с водой и образцом между двумя взвешиваниями, мг;

Δz – промежуток времени между двумя взвешиваниями, с;

S – площадь сечения образца, м^2;

$\delta_в$ –толщина воздушного слоя (расстояние от уровня воды в испарительной чашке до нижнего основания образца), м;

$\mu_в$ – коэффициент паропроницаемости воздуха в приборе, мг/(м·ч·Па) (равен 1,01 мг/(м·ч·Па)).

Коэффициент паропроницаемости материала образца рассчитывался по формуле:

$$\mu = \frac{\delta_O}{R_n}, \tag{4.2}$$

где μ – коэффициент паропроницаемости материала образца, мг/(м·ч·Па);

δ_o – толщина образца, м.

4.2. Результаты исследований паропроницаемости материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

Результаты определения сопротивления паропроницанию образцов материалов минераловатных теплоизоляционных URSA 40 RN, URSA 37 RN, URSA 37 PN, URSA 35 QN, URSA 34 PN, URSA 34 P FB, URSA 32 PN, URSA 32 P FB, URSA 30 PN по формуле (4.1) и расчетов коэффициента паропроницаемости по формуле (4.2) представлены табл. 4.1. Для каждой марки данные получались путем осреднения результатов испытания на 3-х образцах.

Табл. 4.1 Результаты исследований паропроницаемости

Марка	Сопротивление паропроницанию, R, м^2·ч·Па/мг	Паропроницаемость, μ, мг/(м·ч·Па)
URSA 40 RN	0,042	0,5887
URSA 37 RN	0,047	0,538
URSA 37 PN	0,055	0,542
URSA 35 QN	0,061	0,492
URSA 34 PN	0,065	0,384
URSA 34 P FB	0,082	0,306
URSA 32 PN	0,078	0,320
URSA 32 P FB	0,098	0,255
URSA 30 PN	0,101	0,295

5. Исследования воздухопроницаемости

5.1. Методика исследования воздухопроницаемости

Экспериментальные исследования сопротивления воздухопроницанию образцов и воздухопроницаемости материалов проводилось по методике ГОСТ 32493 [12]. Сущность метода испытаний заключалась в измерении количества воздуха (плотности потока воздуха) G, проходящего через образец материала с известными геометрическими размерами, при последовательном создании заданных стационарных перепадов давления воздуха. По результатам измерений вычислялись коэффициент воздухопроницаемости материала i и сопротивление воздухопроницанию образца материала R_u, входящие в уравнения фильтрации воздуха (5.1) и (5.2) соответственно:

$$G = i\frac{(\Delta P)^n}{\delta}; \tag{5.1}$$

$$G = \frac{(\Delta P)^n}{R_u}, \tag{5.2}$$

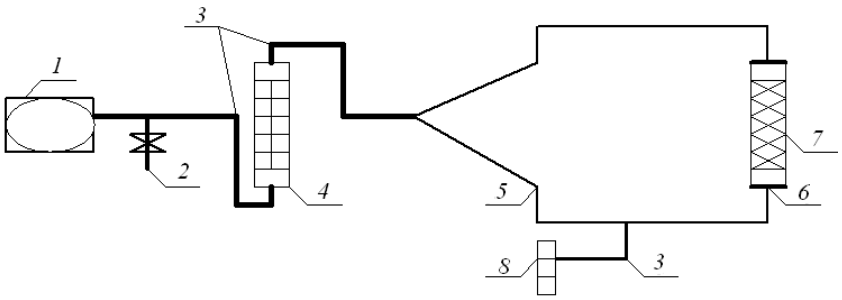
где G – плотность потока воздуха, кг/(м^2· ч);

ΔP – перепад давления, Па;

δ – толщина образца, м;

R_u –сопротивление воздухопроницанию, [м^2·ч· (Па)^n]/кг.

Схема испытательной установки для определения воздухопроницаемости приведена на рисунке 5.1.



1 – компрессор; *2* – регулирующая запорная арматура; *3* – шланги; *4* – расходомеры (ротаметры) воздуха; *5*– герметичная камера, обеспечивающая стационарный режим движения воздуха; *6* – приспособление для герметичного крепления образца; *7* – образец; *8* – манометр

Рис. 5.1 Схема испытательной установки для определения воздухопроницаемости теплоизоляционных материалов

Испытания проводились на трех образцах каждой марки, представляющих собой квадратные пластины таких размеров, чтобы после закрепления в испытательной установке воздух проходил через сечение образца 200х200 мм. При помощи компрессора и регулирующей арматуры последовательно (ступенчато) создавались перепады давлений по обе стороны образца. Испытания начинались с перепада давления, ΔP, в 5 Па и затем с шагом 1-3 Па доводились до того момента, пока расходомер (ротаметр) воздуха не показывал максимальный для своего диапазона использования расход воздуха (максимальный зафиксированный перепад давлений в серии экспериментов составил 45 Па).

По зафиксированным значениям расхода воздуха, Q_i, для каждой ступени давления вычислялось значение расхода воздуха (плотность потока воздуха), проходящего через образец, G_i, кг/(м^2·ч), по формуле

$$G_i = (\gamma_в \cdot Q_i) / S, \tag{5.3}$$

где $\gamma_в$ – плотность воздуха, кг/м^3;

S – площадь лицевой поверхности образца, м^2.

Для определения характеристик воздухопроницаемости материала по полученным результатам испытания уравнение (5.1) представлялось в виде:

$$\ln G = \ln\left(\frac{i}{\delta}\right) + n \cdot \ln \Delta P. \tag{5.4}$$

По значениям ΔP_i и G_i в логарифмических координатах строился график воздухопроницаемости образца. Логарифмы значений G_i наносились на плоскость координат в зависимости от логарифмов соответствующих перепадов давлений ΔP_i. Через нанесенные точки проводилась прямая линия. Значение показателя режима фильтрации n определялся, как тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс.

Коэффициент воздухопроницаемости материала i, кг/[м·ч·(Па)^n], определялся по формуле

$$i = \delta \cdot \exp(b), \tag{5.5}$$

где b – ордината пересечения прямой с осью ln G;

δ – толщина испытуемого образца, м.

Сопротивление воздухопроницанию образца материала R_u, [м^2·ч·(Па)^n]/кг, определялось по формуле

$$R_u = \exp(-b). \tag{5.6}$$

Значения коэффициента воздухопроницаемости материала, сопротивления воздухопроницанию образцов материала, а так же показателя режима фильтрации материала определялись как среднеарифметические значения результатов испытания всех образцов.

5.2. Результаты исследований воздухопроницаемости материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия»

Графическая обработка экспериментальных данных испытаний воздухопроницаемости образцов материалов минераловатных теплоизоляционных URSA 37 PN, URSA 35 QN, URSA 34 PN, URSA 34 P FB, URSA 32 PN, URSA 32 P FB, URSA 30 PN представлена на рис. 5.2-5.8, соответственно. Рядом с аппроксимирующими (экспериментальные точки) прямыми выписаны уравнения их определяющие, по коэффициентам которых по формулам (5.4)-(5.6) находились параметры уравнения воздухопроницаемости для соответствующего материала.

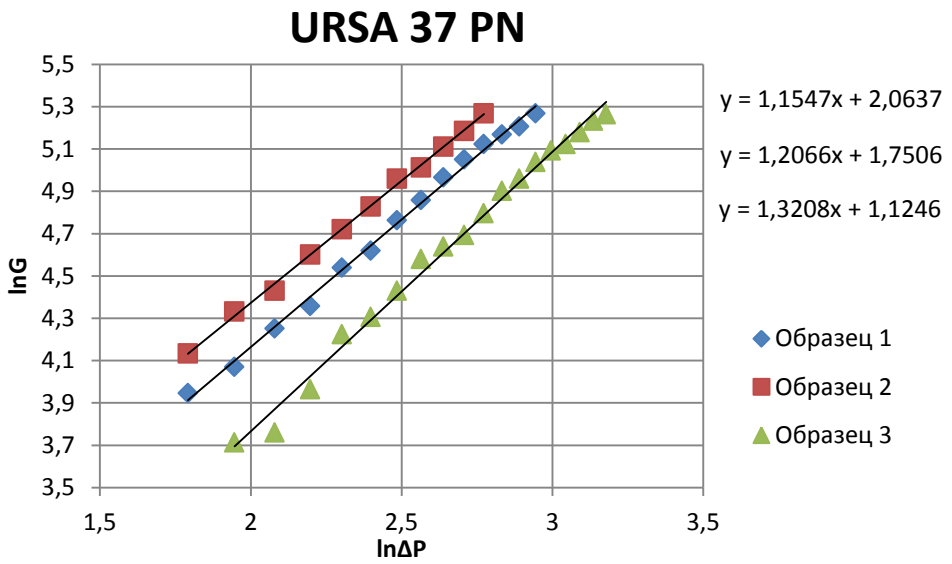


Рис. 5.2 Графическое определение параметров уравнения воздухопроницаемости образцов материала URSA 37 PN

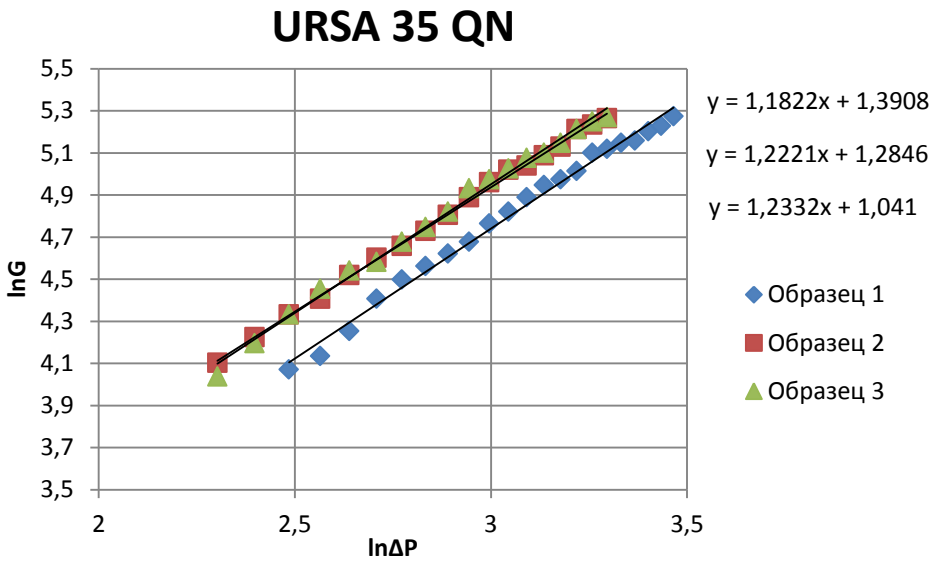


Рис. 5.3 Графическое определение параметров уравнения воздухопроницаемости образцов материала URSA 35 QN

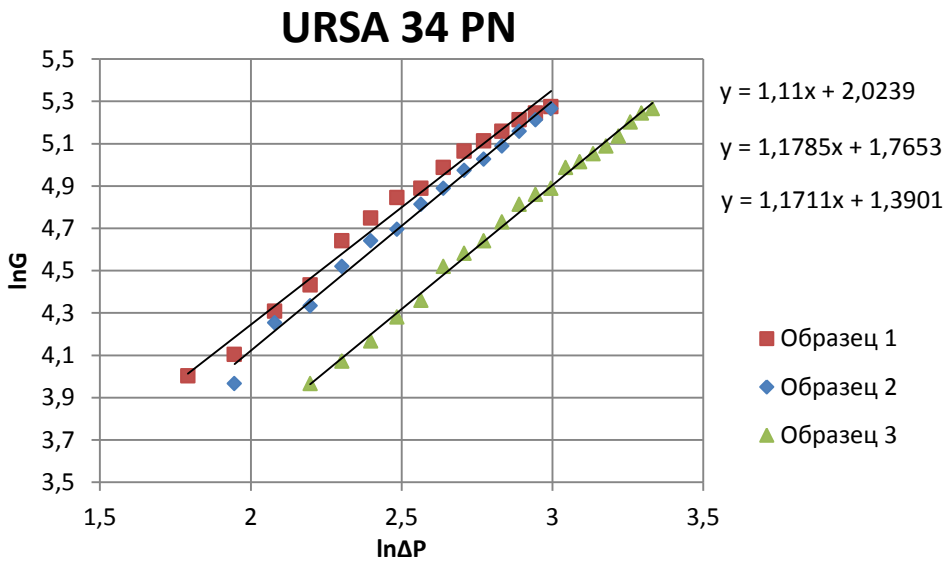


Рис. 5.4 Графическое определение параметров уравнения воздухопроницаемости образцов материала URSA 34 PN

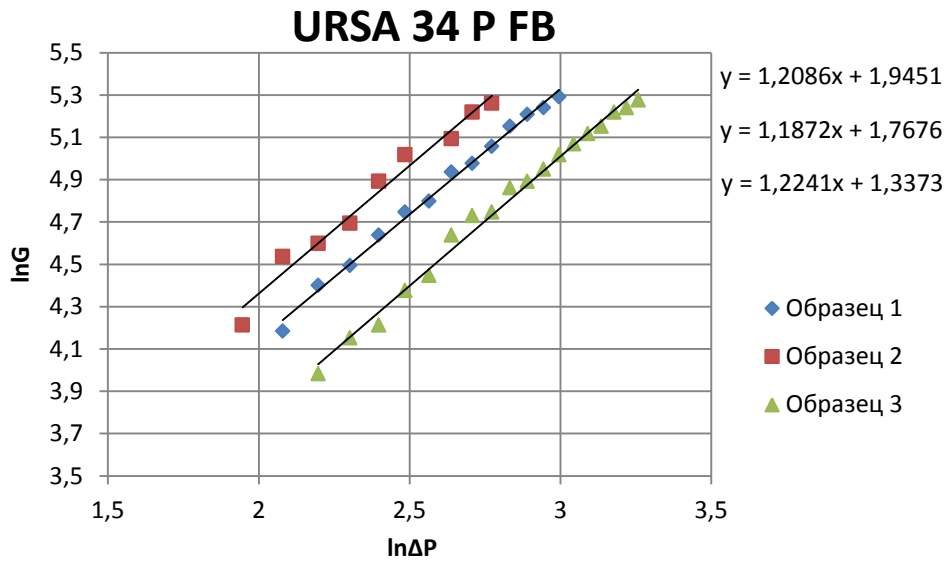


Рис. 5.5 Графическое определение параметров уравнения воздухопроницаемости образцов материала URSA 34 P FB

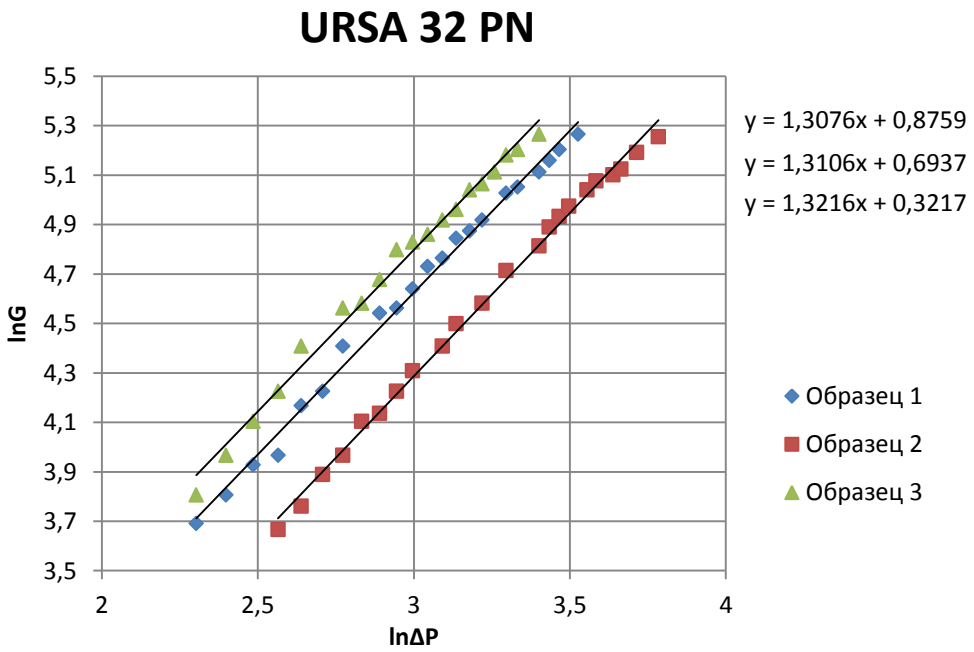


Рис. 5.6 Графическое определение параметров уравнения воздухопроницаемости образцов материала URSA 32 PN

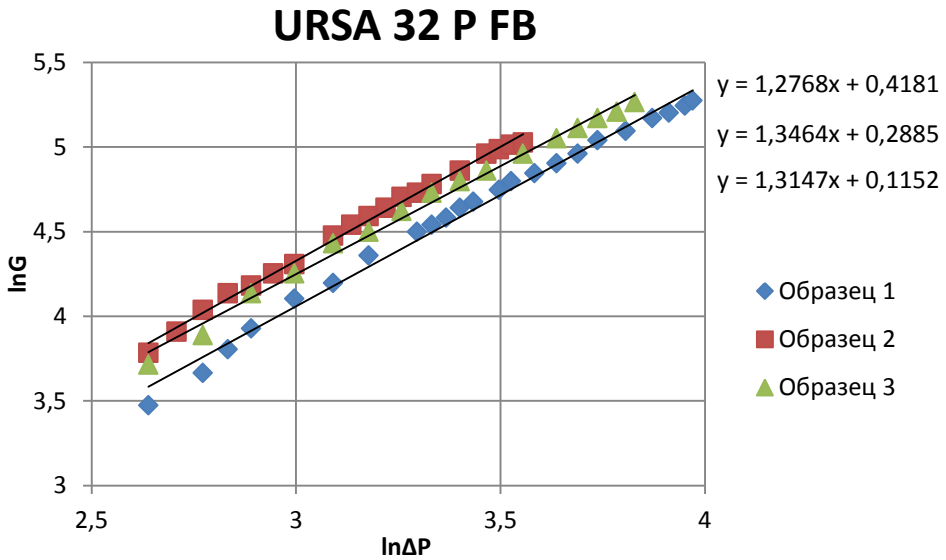


Рис. 5.7 Графическое определение параметров уравнения воздухопроницаемости образцов материала URSA 32 P FB

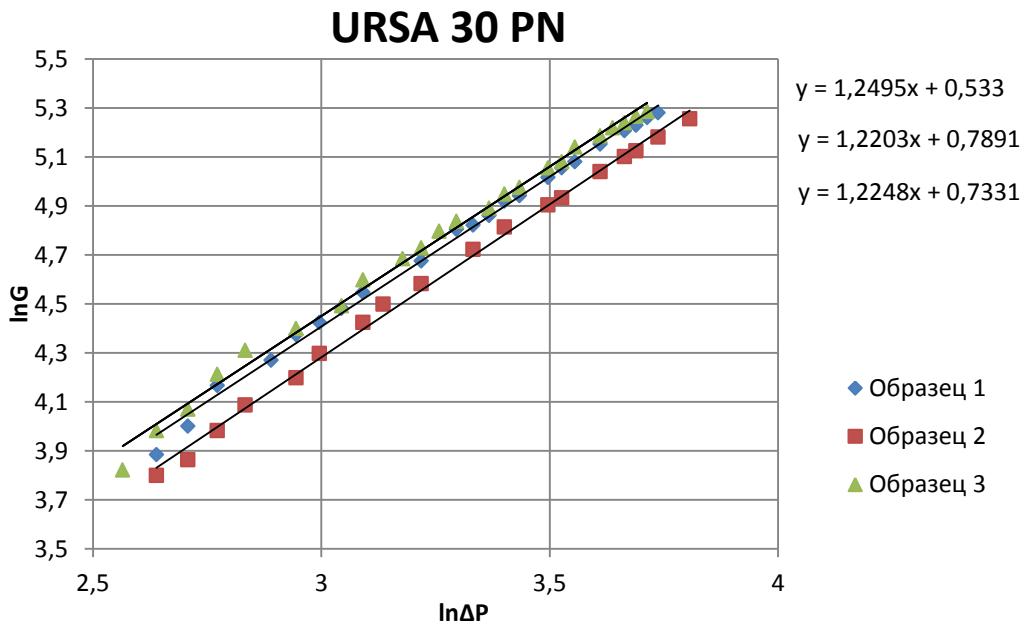


Рис. 5.8 Графическое определение параметров уравнения воздухопроницаемости образцов материала URSA 30 PN

Результаты определения коэффициента воздухопроницаемости материала, сопротивления воздухопроницанию образцов материала, а также показателя режима фильтрации по формулам (5.4)-(5.6) материалов минераловатных теплоизоляционных URSA 37 PN, URSA 35 QN, URSA 34 PN, URSA 34 P FB, URSA 32 PN, URSA 32 P FB, URSA 30 PN представлены табл. 5.1. Для каждой марки данные получались путем осреднения результатов испытания на 3-х образцах.

Табл. 5.1 Результаты исследований воздухопроницаемости

Марка	Коэффициент воздухопроницаемости, *i*, кг/[м·ч·(Па)^n]	Сопротивление воздухопроницанию, *Ru*, [м^2·ч·(Па)^n]/кг	Показатель режима фильтрации, *n*
URSA 37 PN	0,279	0,761	1,227
URSA 35 QN	0,290	0,750	1,153
URSA 34 PN	0,278	0,759	1,207
URSA 34 P FB	0,174	0,840*	1,213
URSA 32 PN	0,096	0,908	1,313
URSA 32 P FB	0,066	0,936*	1,313
URSA 30 PN	0,060	0,942	1,232

* По результатам испытаний видно, что сопротивление воздухопроницанию образцов материалов, кэшированных стеклохолстом, выше сопротивления воздухопроницанию образцов аналогичных материалов без стеклохолста

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного комплекса исследований теплотехнических показателей и оценки срока эффективной эксплуатации материалов минераловатных теплоизоляционных производства ООО «УРСА Евразия», производимых по ТУ 2399-012-71451657-2016, ТУ 2399-013-71451657-2016, ТУ 2399-014-71451657-2016, получены следующие результаты и выводы:

- Срок эффективной эксплуатации испытанных материалов составляет 50 лет согласно ГОСТ Р 57418-2017.
- Проведены исследований сорбции водяного пара по методике ГОСТ 24816-2014. Полученные значения максимальной сорбционной влажности значительно ниже ранее полученных результатов для минераловатных теплоизоляционных материалов из стеклянного волокна.
- Проведены исследования теплопроводности в сухом состоянии по методике ГОСТ 7076-99 и при эксплуатационных условиях. Полученные результаты можно использовать в теплотехнических расчетах ограждающих конструкций зданий.
- Проведены исследования паропроницаемости по методике ГОСТ 25898-2012. По полученным результатам можно сделать вывод о зависимости паропроницаемости от плотности испытанных минераловатных теплоизоляционных материалов. Полученные результаты можно использовать при расчетах защиты от переувлажнения ограждающих конструкций зданий.
- Проведены исследования воздухопроницаемости по методике ГОСТ 32493-2013. Проведенные исследования качественно отличаются от ранее проводимых по этой тематике и позволяют использовать полученные результаты в расчетах воздухопроницаемости ограждающих конструкций.

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 «Тепловая защита зданий» Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
5. ГОСТ Р 57418-2017. Материалы и изделия минераловатные теплоизоляционные. Метод определения срока эффективной эксплуатации.
6. ГОСТ 7076-99. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме.
7. ГОСТ 24816-2014. Материалы строительные. Метод определения сорбционной влажности.
8. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий».
9. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение расчетной влажности строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 8. С. 28-33.
10. Пастушков П.П., Гагарин В.Г. Исследования зависимости теплопроводности и коэффициента теплотехнического качества от плотности автоклавного газобетона // Строительные материалы. 2017. № 5. С. 26-28.

11. ГОСТ 25898-2012. Материалы и изделия строительные. Методы определения сопротивления паропроницанию.
12. ГОСТ 32493-2013. Материалы и изделия теплоизоляционные. Метод определения воздухопроницаемости и сопротивления воздухопроницанию.