

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

А.А. Мольков

ПЕНОПОЛИСТИРОЛ

Учебно-методическое пособие

по выполнению лабораторных работ и практических занятий для обучающихся по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и изоляционных материалов»
по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»

Нижний Новгород
2024

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

А.А. Мольков

ПЕНОПОЛИСТИРОЛ

Учебно-методическое пособие

по выполнению лабораторных работ и практических занятий для
обучающихся по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и
изоляционных материалов»

по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Производство и
применение строительных материалов,
изделий и конструкций»

Нижний Новгород
ННГАСУ
2024

УДК 691 : 699.86

Мольков, А.А. Пенополистирол : учебно-методическое пособие / А.А. Мольков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2024. – 17 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-RW). – Текст : электронный.

В учебно-методическом пособии приведены содержание и последовательность выполнения работы, приведены основные сведения о сырьевых компонентах, технологии изготовления, свойствах и областях применения пенополистирола; методика определения свойств пенополистирола.

Пособие предназначено для обучающихся в ННГАСУ по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и изоляционных материалов» по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций».

© А.А. Мольков, 2024
© ННГАСУ, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

1 Цель работы	4
2 Общие сведения о материале	4
3 Сырье и теоретические основы его переработки	6
4 Технология производства полистирольного пенопласта.....	6
5 Порядок выполнения работ	7
5.1 Получение пенополистирола и исследование влияния технологических факторов на его свойства.....	8
5.2 Испытание плит из пенополистирола.....	10
Приложение А	15
Список использованных источников.....	17

1 Цель работы

1.1 Целью работы является:

- знакомство студентов с технологией получения одной из разновидностей газонаполненных пластмасс – пенополистиролом;
- исследование влияния технологических факторов на свойства пенополистирола;
- испытание плит из пенополистирола в соответствии с ГОСТ 15588-2014 [1].

2 Общие сведения о материале

2.1 Полистирольный пенопласт - это один из наиболее эффективных и широко применяемых органических тепло- и звукоизоляционных материалов. Он стоек к действию кислот и щелочей, пресной и морской воды, спиртов и неароматических масел. По сравнению с другими теплоизоляционными материалами пенополистирол характеризуется более низкой средней плотностью и высокими тепло-, звуко- и электроизоляционными свойствами. Пенопласт обладает удовлетворительной морозо- и биостойкостью, не вызывает коррозию контактирующих с ним металлов.

К числу отрицательных свойств пенополистирола следует отнести горючесть, низкую теплостойкость, существенное изменение свойств с повышением температуры, растворимость в бензине, керосине, сложных эфирах, органических растворителях и некоторых других веществах.

Пенополистирол применяют для тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций вновь строящихся и эксплуатируемых зданий и сооружений (включая теплоизоляцию в фасадных теплоизоляционных композиционных системах с наружными штукатурными слоями, в многослойных панелях), тепловой защиты отдельных элементов строительных конструкций и промышленного оборудования при отсутствии контакта плит с внутренними помещениями, а также в холодильных камерах при температуре изолируемых поверхностей от минус 100 °С до плюс 80 °С.

Пенополистирол, в зависимости от основных способов производства, представлен следующими видами:

- беспрессовым пенополистиролом;
- экструзионным вспененным полистиролом.

Беспрессовый полистирольный пенопласт получают из вспенивающегося полистирола с антипиренами, полученного суспензионным или экструзионным способом, с добавками графита, красителей или без них. Экструзионный полистирольный пенопласт получают методом экструзии полистирола или одного из его сополимеров с добавкой вспенивающих реагентов, с образованием или без образования пленки на его поверхности. Свойства беспрессового и экструзионного пенопластов существенно различаются. Технология беспрессового пенополистирола более простая, что и определило более широкое ее распространение.

Беспрессовый метод получения пенополистирола изучается в настоящей лабораторной работе.

Из полистирольного беспрессового пенопласта изготавливают плиты, которые должны соответствовать требованиям ГОСТ 15588-2014 [1].

В зависимости от предельного значения средней плотности плиты подразделяют на марки: ППС10, ППС12, ППС13, ППС14, ППС15, ППС15Ф, ППС16Ф, ППС17, ППС20, ППС20Ф, ППС23, ППС25, ППС30, ППС35, ППС40, ППС45. Их характеристики приведены в таблицах приложения А.

Плиты марок ППС15Ф, ППС16Ф, ППС20Ф предназначены для теплоизоляции в фасадных теплоизоляционных композиционных системах с наружными штукатурными слоями.

В зависимости от технологии изготовления плиты подразделяют на типы:

- Р – резаные из крупногабаритных блоков;
- РГ – резаные графитсодержащие из крупногабаритных блоков;
- Т – термоформованные.

В зависимости от формы плиты изготавливают двух видов:

- А – плиты с прямоугольной боковой кромкой;
- Б – плиты с выбранной или формованной в «четверть» боковой кромкой.

3 Сырье и теоретические основы его переработки

3.1 Сырьем для получения полистирольного пенопласта служит полистирол суспензионный бисерный.

Гранулы полистирола представляют собой мелкозернистую термопластичную пластмассу, содержащую равномерно распределенные порообразующие вещества в количестве (3 - 9) %. В качестве порообразователей используют легкокипящие жидкости, не реагирующие с полимером, с температурой кипения в два-три раза ниже температуры размягчения полимеров. Чаще всего применяют пентан с температурой кипения 36,7 °С и изопентан с температурой кипения 27,9 °С.

Производство изделий из полистирола характеризуется тем, что при нагревании выше 80 °С полистирол переходит из стеклообразного состояния в эластичное, а газообразователь, входящий в состав гранул полистирола, - при температуре выше 28 °С переходит из жидкого состояния в газообразное.

Под давлением газа размягченные гранулы полистирола увеличиваются в объеме в 10-20 раз. Степень увеличения размера гранул зависит от температуры нагрева и становится максимальной при температуре (95-100) °С. Теплоносителем служит горячая вода, пар или нагретый воздух. Непременным условием переработки гранул, обеспечивающим получение качественного материала, является соответствие между внутренним давлением, прочностью полимерного вещества и толщиной пленки каждой ячейки. Технологическими факторами, обеспечивающими это соответствие, является температура и продолжительность теплового воздействия на гранулы в процессе переработки.

4 Технология производства полистирольного пенопласта

4.1 Технология производства пенополистирола состоит из двух основных стадий: предварительное вспенивание, после которого материал сохраняет зернистое сыпучее состояние, и окончательное вспенивание в форме, в процессе которого гранулы склеиваются между собой [3].

На первой стадии в процессе т.н. «подвспенивания», порообразование происходит, в основном, за счет увеличения объема изопентана и создания определенного давления внутри каждой размягченной гранулы полистирола.

«Подвспенивание» гранул осуществляется в водяных ваннах периодического действия или шнековых или барабанных аппаратах непрерывного действия с помощью водяного пара низкого давления (0,07 - 0,11) МПа. Температура в водяной ванне поддерживается (95 – 98) °С, в указанных аппаратах – в диапазоне (90 – 102) °С. Время «подвспенивания» в ванне (120 – 130) с, а в аппаратах – (60 – 180) с.

На второй стадии, в период окончательного вспенивания и спекания увеличение пористости происходит частично за счет пара и воздуха, проникающего в поры гранул при охлаждении после «подвспенивания», а частично за счет расширения объема газообразователя. Оптимальное время выдерживания гранул перед окончательным вспениванием (4 - 8) часов при температуре (22 – 26) °С.

Окончательное вспенивание и спекание гранул чаще всего производят в жестких перфорированных формах из алюминия или нержавеющей стали. Эту операцию можно осуществлять и без форм на пластинчатом конвейере или непосредственно в конструкции с помощью паровых рубашек или токов высокой частоты. Спекание в формах происходит в автоклавах. Оно продолжается (1 – 2) минуты. После вспенивания изделия охлаждают.

5 Порядок выполнения работы

Лабораторная работа по получению и испытанию пенополистирола состоит из двух частей. На первом занятии, как правило, выполняют получение образцов с предварительным вспениванием в водяной ванне и окончательным вспениванием и спеканием в перфорированных формах в автоклаве. На втором занятии выполняют определение показателей внешнего вида, размеров и свойств плит из пенополистирола.

5.1 Получение пенополистирола и исследование влияния технологических факторов на его свойства

Выполнение экспериментальной части работы по получению образцов пенополистирола производится в следующей последовательности.

5.1.1 Подготавливают к работе перфорированную форму на три образца - бабочки 40x40x160 мм, снимают крышку проверяют комплектность и правильность сборки.

5.1.2 Вычисляют с погрешностью до 0,1 г массу навески суспензионного бисерного полистирола на 3 образца по формуле

$$M = 1,1 \cdot \rho_m \cdot V_{\phi}, \text{ г}, \quad (1)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий потери материала;

ρ_m - плотность пенополистирола, г/см³;

V_{ϕ} – объём формы, см³.

5.1.3 Взвешивают навеску полистирола, вычисленную по п. 5.1.2.

5.1.4 Из навески случайным образом отбирают 10 гранул и с помощью штангенциркуля определяют диаметр с погрешностью до 0,1 мм. Результаты измерений записывают в таблицу.

5.1.5 Производят предварительное «подвспенивание» полистирола, для чего взвешенную навеску высыпают в емкость с водой, предварительно доведенной до кипения и находящейся на электроплитке.

Подвспененные гранулы перфорированным совком извлекают из водяной ванны и помещают на поддон для выдерживания.

5.1.6 Из поддона для выдерживания аналогично п. 5.1.4 отбирают 10 гранул, измеряют их диаметр, а результаты измерений записывают в таблицу.

5.1.7 По результатам измерений гранул вычисляют коэффициент вспучивания:

$$K = \frac{V_2}{V_1}, \quad (2)$$

где V_1 – средний объём гранул до вспучивания, мм³;

V_2 – средний объём гранул после вспучивания, мм³.

5.1.8 По окончании периода выдерживания, продолжительность которого

устанавливается в зависимости от конкретных условий проведения занятий, навеску «подвспененного» полистирола по массе или объему делят на три равные части и загружают в гнезда формы, после чего накрывают крышкой и сбалчивают.

5.1.9 Форму с «подвспененным» полистиролом помещают в автоклав, где происходит окончательное вспенивание и спекание по принятому режиму.

Автоклавную обработку производит лаборант с соблюдением необходимых мер техники безопасности при работе с сосудами под давлением.

5.1.10 По окончании процесса автоклавной обработки и снижения давления в автоклаве до нормального студенты в присутствии лаборанта открывают автоклав и, надев брезентовые рукавицы, извлекают формы.

5.1.11 Формы остывают в помещении лаборатории. Затем из них после распалубки извлекают образцы, а формы чистят и собирают для последующих опытов.

5.1.12 Испытание образцов начинают с осмотра внешнего вида и установления визуальной степени спекания гранул и достижения образцом требуемой формы, т.е. размеров балочки близких к номинальному - 40x40x160 мм. Образцы, не вспененные до номинальных размеров и не спекшиеся, дальнейшим испытаниям не подвергают, а опыт повторяют.

5.1.13 У образцов, удовлетворяющих п. 5.1.12, с помощью штангенциркуля определяют размеры с погрешностью до 0,1 мм. Размеры граней каждого образца определяют как среднее из двух измерений каждой грани.

5.1.14 Вычисляют объем каждого образца V (см³).

5.1.15 Определяют массу каждого образца m с погрешностью до 0,1 г.

5.1.16 Вычисляют среднюю плотность в сухом состоянии каждого образца:

$$\rho_m = \frac{m}{V(1+0,01W)}, \text{ г/см}^3, \quad (3)$$

где W – влажность образца, %.

5.1.17 Исходя из полученных результатов делают выводы о влиянии технологических факторов на исследуемые свойства пенопласта.

5.2 Испытание плит из пенополистирола

5.2.1 Определение показателей внешнего вида и размеров плит

5.2.1.1 Длину и ширину плит измеряют линейкой в трех местах: на расстоянии 50 мм от края и посередине плиты. Погрешность измерения не более 1 мм. За длину и ширину принимают среднее арифметическое значение измерений плиты.

5.2.1.2 Толщину плиты измеряют штангенциркулем в 8 местах на расстоянии 50 мм от боковых граней плиты: 4 точки посередине длины и ширины плиты и 4 точки по углам плиты на расстоянии 50 мм от пересечения боковых граней. Погрешность измерения - не более 0,1 мм. За толщину принимают среднее арифметическое значение измерения плиты.

5.2.1.3 Для определения разности диагоналей измеряют длины двух диагоналей на наибольшей грани плиты рулеткой.

5.2.1.4 Отклонение от плоскостности граней плиты проверяют на двух наибольших гранях путем приложения к ним ребра линейки и измерения другой линейкой зазоров между поверхностью изделия и ребром приложенной линейки [2]. В каждой проверяемой грани линейку прикладывают посередине последовательно в двух направлениях: вдоль всей плиты и вдоль всей ширины изделия, и измеряют:

- наибольший зазор — для поверхности с вогнутостью;
- зазоры по краям — для ребра с выпуклостью.

За результат измерения отклонения от прямолинейности ребра с выпуклостью принимают значение наибольшего из измеренных зазоров, округленное до 1 мм.

5.2.2 Определение плотности

Плиты взвешивают с погрешностью не более 0,5 %.

Определяют плотность плиты по формуле (3). Объем, при этом, вычисляют по результатам измерений п. 5.2.1.1 и 5.2.1.2.

За результат испытаний принимают среднеарифметическое значение результатов параллельных определений плотности трех плит, округленное до 0,1 кг/м³.

5.2.3 Определение влажности

Для определения влажности из плит выпиливают по три образца: один из середины и два на расстоянии 50 мм от края плиты. Размеры образца должны быть $[(50 \times 50 \times 50) \pm 0,5]$ мм.

Образцы взвешивают с погрешностью не более 0,01 г, высушивают в сушильном шкафу при температуре (60 ± 2) °С в течение 3 ч, а затем охлаждают в эксикаторе с хлористым кальцием в течение 0,5 ч, после чего образцы взвешивают с той же погрешностью (т.к. время занятия ограничено допускается уменьшить время сушки).

Влажность w образца в процентах вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \% \quad (4)$$

где m - масса образца после высушивания, г;

m_1 - масса образца до высушивания, г.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение параллельных определений влажности, округленное до 1,0 %.

5.2.4 Определение водопоглощения

Для определения водопоглощения из плит выпиливают по одному образцу размером $[(50 \times 50 \times 50) \pm 0,5]$ мм. Если толщина плиты менее 50 мм, то высота образца принимается равной толщине плиты. Длину, ширину и толщину образца измеряют не менее чем в трех точках с погрешностью не более 0,1 мм.

Перед проведением испытаний образцы высушивают, как указано в п. 5.2.3.

Образцы помещают в ванну на сетчатую подставку и фиксируют их положение сетчатым пригрузом. Затем в ванну заливают воду с температурой (22 ± 5) °С так, чтобы уровень воды был выше сетчатого пригруза не менее, чем на 20 мм.

Через 24 ч образцы вынимают, протирают фильтровальной бумагой и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г (т.к. время занятия ограничено допускается уменьшить время выдержки образцов в воде).

Водопоглощение $W_{\text{погл}}$ в процентах по объему вычисляют по формуле

$$W_{\text{погл}} = \frac{m - m_0}{V \cdot \rho_{\text{в}}}, \%, \quad (5)$$

где m - масса образца после выдерживания его в воде, г;

m_0 - масса образца до погружения в воду, г;

V - объем образца, см³;

$\rho_{\text{в}}$ - плотность воды, г/см³.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение параллельных определений водопоглощения, округленное до 0,1 %.

5.2.5 Определение прочности на сжатие при 10 %-ной линейной деформации

Для определения прочности на сжатие при 10 %-ной линейной деформации из плит выпиливают по три образца размером $[(50 \times 50 \times 50) \pm 0,5]$ мм (один из середины и два на расстоянии 50 мм от края плиты).

Если толщина плит меньше 50 мм, то высота образца принимается равной толщине плиты.

Измеряют линейные размеры образца. Затем образец устанавливают на опорную плиту машины таким образом, чтобы сжимающее усилие действовало по оси образца. Нагружение производят со скоростью (5 - 10) мм/мин до достижения нагрузки, соответствующей 10 %-ной линейной деформации, причем нагружение образца проводят в направлении толщины плиты, из которой он был выпилен.

Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации $R_{\text{сж}}$ в мегапаскалях вычисляют по формуле

$$R_{\text{сж}} = \frac{F}{A}, \text{ МПа}, \quad (6)$$

где F – нагрузка в момент достижения 10 % линейной деформации образца, Н;

A – площадь сечения образца, мм².

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение параллельных определений прочности, округленное до 0,01 МПа.

5.2.6 Определение предела прочности при изгибе

Для определения прочности при изгибе из плиты выпиливают по два образца размером $[(250 \times 40 \times 40) \pm 1]$ мм (один из середины и один на расстоянии 50 мм от края плиты). Если плиты имеют толщину менее 40 мм, то высота образца должна быть равной толщине плиты.

Перед испытанием измеряют не менее чем в трех точках ширину и толщину образца с погрешностью не более 0,1 мм. Образец помещают на опоры так, чтобы плоскость образца касалась опор по всей его ширине, а концы образца выходили за оси опор не менее чем на 20 мм. При этом высота образца должна совпадать с направлением нагружения.

Скорость нагружения испытательной машины (5 - 10) мм/мин. Расстояние между осями должно быть (200 ± 1) мм.

Предел прочности при изгибе образца $R_{изг}$ в мегапаскалях вычисляют по формуле

$$R_{изг} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \text{ МПа}, \quad (7)$$

где F - разрушающая нагрузка, Н;

l - расстояние между осями опор, мм;

b - ширина образца, мм;

h - толщина образца, мм.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение двух параллельных определений прочности, округленное до 0,01 МПа.

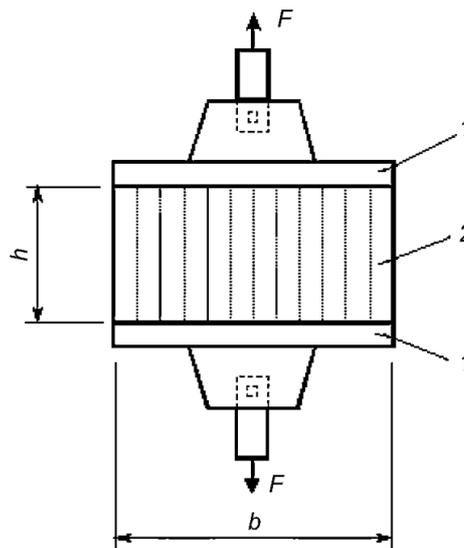
5.2.7 Определение предела прочности при растяжении в направлении, перпендикулярном поверхностям

Из каждой плиты вырезают по одному образцу в форме параллелепипеда длиной и шириной (100 ± 1) мм и толщиной, равной толщине плиты.

На склеиваемые поверхности образца и металлических пластин наносят клеящее вещество (эпоксидный клей или другое клеящее вещество, обеспечивающее прочное сцепление образца с пластиной) и прикладывают усилие для обеспечения полного их контакта.

Образец с приклеенными пластинами помещают в испытательную машину. Прикладывают к образцу растягивающее усилие при скорости движения активного захвата (9 – 11) мм/мин, см. рисунок 1.

Разрушающей нагрузкой считают наибольшую нагрузку, отмеченную при испытании образца в момент его разрушения. В случае если разрушение образца произошло по приклеивающему слою, результаты испытания данного образца аннулируют.



h — толщина образца; b — сторона квадратного сечения образца;
 F — растягивающее усилие; 1 — металлические пластины; 2 — образец
 Рисунок 1 — Схема испытания образцов на растяжение

Предел прочности при растяжении в направлении, перпендикулярном поверхности плиты, вычисляют по формуле

$$R_{\text{раст}} = \frac{P}{lb} \cdot 10^3, \text{ кПа}, \quad (8)$$

где P — разрушающая нагрузка, Н;

l — длина образца, мм;

b — ширина образца, мм.

За результат испытания принимают среднеарифметическое значение параллельных определений прочности, округленное до 10 кПа.

5.2.8 На основании результатов испытаний делают заключение о соответствии плит пенополистирола требованиям ГОСТ 15588-2014 [1].

Приложение А

Таблица А1 – Показатели физико-механических свойств плит типа Р

Наименование показателя	Значение показателя для плит марок										
	ППС10	ППС12	ППС13	ППС14	ППС16Ф	ППС17	ППС20	ППС23	ППС25	ППС30	ППС35
Плотность, кг/м ³ , не менее	10	12	13	14	16	17	20	23	25	30	35
Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации, МПа, не менее	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,25
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,06	0,10	0,12	0,15	0,18	0,16	0,20	0,22	0,25	0,30	0,35
Предел прочности при растяжении в направлении, перпендикулярном поверхности, кПа, не менее	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
Теплопроводность в сухом состоянии при (25±5)°С, Вт/(м·К), не более	0,044	0,042	0,041	0,040	0,038	0,039	0,038	0,037	0,036	0,037	0,038
Влажность, % не более	5,0		3,0		2,0	3,0	2,0				
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	4,0		3,0		1,0	2,0					
Время самостоятельного горения, с, не более	4				1	4					

Таблица А2 – Показатели физико-механических свойств плит типа РГ

Наименование показателя	Значение показателя для плит марок	
	ППС15Ф	ППС20Ф
Плотность, кг/м ³ , не менее	15	20
Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации, МПа, не менее	0,07	0,10
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,14	0,25
Предел прочности при растяжении в направлении, перпендикулярном поверхности, кПа, не менее	100	150
Теплопроводность в сухом состоянии при (25±5)°С, Вт/(м·К), не более	0,032	0,031
Влажность, % не более	2,0	
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	4,0	3,0
Время самостоятельного горения, с, не более	1	

Таблица А3 – Показатели физико-механических свойств плит типа Т

Наименование показателя	Значение показателя для плит марок						
	ППС15	ППС20	ППС25	ППС30	ППС35	ППС40	ППС45
Плотность, кг/м ³ , не менее	15	20	25	30	35	40	45
Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации, МПа, не менее	0,10	0,15	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	0,18	0,20	0,25	0,40	0,45	0,50	0,55
Теплопроводность в сухом состоянии при (25±5)°С, Вт/(м·К), не более	0,039	0,038		0,037	0,038		
Влажность, % не более	1,0						
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	1,5		1,0		0,5	0,3	0,2
Время самостоятельного горения, с, не более	4						

Список использованных источников

1. ГОСТ 15588-2014 Плиты пенополистирольные. Технические условия.
2. ГОСТ 17177-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы контроля.
3. Майзель И. Л. Технология теплоизоляционных материалов : учебник для обучения рабочих на пр-ве / И. Л. Майзель, В. Г. Сандлер. - М. : Высшая школа, 1988. – 238 с.

Мольков Алексей Александрович

ПЕНОПОЛИСТИРОЛ

Учебно-методическое пособие

по выполнению лабораторных работ и практических занятий для обучающихся по дисциплине «Технологии теплоизоляционных и изоляционных материалов»
по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций»