

# 11. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ

## 11.1 Вступление

Производство вспененных материалов является одним из основных применений ГХФУ в мировой практике.

ГХФУ-141b, ГХФУ-142b и ГХФУ-22 используются в изготовлении нескольких видов полиуретановых пенопластов и экструзионных вспененных полистирола и полиэтилена.

Пенополиуретан и пенополистирол обладают очень хорошими изоляционными свойствами и приемлемым коэффициентом отношения прочности к весу, что позволяет использовать их в очень широком диапазоне применений: термоизоляция для корпусов холодильников, морозильников и холодильных камер, а также теплоизоляция для крыш, стен и контейнеров хранения в строительной промышленности. Эластичный пенополиуретан также широко используется в качестве набивочного материала в мебели и в некоторых типах упаковки, а также в производстве большого числа компонентов для автомобильной промышленности. Данные области применения подробно не рассматриваются в настоящем документе, поскольку в них не используются ГХФУ.

Увеличение цен на нефть и предпринимаемые глобальные усилия по снижению потребления энергии и выбросов диоксида углерода повлекли за собой принятие новых нормативов и требований к эффективности теплоизоляции при сооружении новых зданий. Это привело к росту производства и потребления пенополиуретана и пенополистирола, поскольку их использование является основным способом повышения эффективности теплоизоляции и уменьшения энергопотерь.

Широко используемые пенопласты		
<i>Полиуретан</i>	<i>Полистирол</i>	<i>Полиэтилен</i>
Эластичный	Экструзионные листы	Экструзионные листы
Жесткий	Экструзионные плиты	Жесткая изоляция
Интегральные пенопласты		

Этот раздел руководства дает некоторое представление о химических компонентах, используемых для получения пенополиуретана, пенополистирола и пенополиэтилена и об областях их применения.

## 11.2 Полиуретан

Полиуретаны относятся к большому классу химических соединений, называемых полимерами. Они являются синтетическими (искусственными) полимерами, произведенными с помощью химических реакций, когда отдельные молекулы, известные как мономеры, объединяются в цепи молекул. Химические соединения, состоящие из этих цепей молекул, известны как полимеры. Полиуретаны были получены в конце 1930-х годов немецким химиком Отто Байером, и с тех пор стали самым универсальным и широко используемым полимером для производства различных пластмасс. Полиуретаны используются в изготовлении теплоизоляции зданий, лаковых покрытий, клеев, твердых пластмасс, обуви, а также эластичных пенопластов, как это было упомянуто выше.

Полиуретаны могут быть произведены в четырех различных формах, а именно: эластичные пенопласты, жесткие пенопласты, эластомеры и покрытия. Жесткие пенопласты иногда называют сшитыми пенопластами, поскольку посредством образования перекрестных связей в них создается жесткая трехмерная структура.

### Категории и сфера использования полиуретана

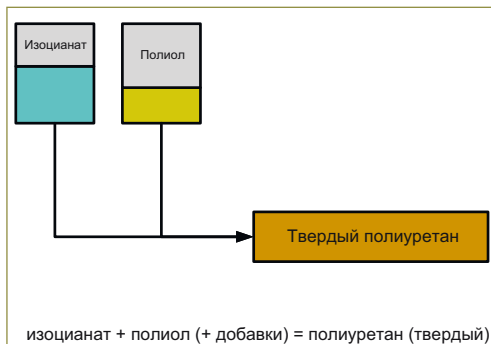
Эластичные пенопласты	Использование эластичных пенопластов обеспечивает наибольший рынок для полиуретанов. Эти материалы обладают высокой ударной вязкостью, в связи с чем они широко применяются в качестве амортизационного набивочного материала при изготовлении мебели. Также они используются в изготовлении матрацев и амортизирующих подушек для мягкой мебели. Полуэластичные интегральные пенополиуретаны применяются для изготовления автомобильных приборных панелей и облицовки дверей. Другие применения включают производство подложек ковровых покрытий, упаковки, губок, швабр и внутренней набивки изделий.
Жесткие пенопласты	Жесткие или сшитые пенополиуретаны используются в качестве теплоизоляции корпусов холодильников, морозильников и холодильных камер, а также для производства изоляционных плит и ламинированных панелей. Ламинированные панели широко используются как кровельный материал в строительстве. При осуществлении работ по теплоизоляции зданий пенополиуретановая изоляция часто наносится методом напыления.
Эластомеры	Эластомеры – материалы, которые могут быть растянуты, но, в конечном счете, возвращаются к своей первоначальной форме. Они применяются в случаях, когда требуется прочность, гибкость, сопротивление абразивному износу и демпфирующие качества. Термопластичные полиуретановые эластомеры могут прессоваться и формироваться. Это позволяет их использовать как практичный материал для изготовления автомобильных частей, лыжных ботинок, колес роликовых коньков, кабельной изоляции и других изделий. Когда эти эластомеры прядут в волокна, они используются в производстве гибкого материала, называемого спандексом. Спандекс используется в производстве чулочно-носочных изделий, бюстгалтеров, корда шлангов, купальников и другой спортивной одежды.
Лакокрасочные материалы	Лакокрасочные материалы из полиуретана хорошо противостоят растворителям и имеют значительную износостойкость. Эти материалы используются для поверхностных покрытий, где требуется сопротивление износу, эластичность, быстрое высыхание, хорошая адгезия и стойкость к химическому воздействию, например в кегельбанах и танцевальных залах. Лакокрасочные полиуретановые материалы на водной основе используются для покраски самолетов, автомобилей и другого промышленного оборудования.

Интегральные пеноматериалы обладают эластичностью.

## 11.3 Как получают полиуретан

Полиуретан получают в результате химической реакции двух основных компонентов, известных как полиолы и изоцианаты. Часто используется термин диизоцианаты. Это составы, содержащие двойные группы изоцианата.

Полиолы и изоцианаты вступают в реакцию в присутствии соответствующих катализаторов и добавок, в результате чего образуются различные типы и сорта полиуретана. Добавки обычно используются для защиты физической целостности материала, окрашивания и повышения огнестойкости.



## Изоцианаты

Обычно применяемые изоцианаты – продукты взаимодействия химических соединений, содержащих азот, толуол, водород и формальдегид.

Дифенилметандиизоцианат, обычно называемый МДИ, – наиболее часто используемый изоцианат в производстве твердых и полужестких пенополиуретанов и составляет приблизительно 80% мирового потребления всех видов изоцианатов. Чистый МДИ представляет из себя кристаллы или хлопья от белого до бледно желтого цвета с легким запахом плесени. МДИ наименее опасен из обычно применяемых изоцианатов, что снижает риски во время его обработки по сравнению с другими изоцианатами (ТДИ, ГДИ). Однако он, как и другие изоцианаты, светочувствителен и является аллергеном.

Толуолдиизоцианат, обычно называемый ТДИ, прежде всего применяется для получения эластичных пенополиуретанов. ТДИ представляет из себя жидкость от бесцветного до бледно-желтого цвета или кристаллы с резким запахом. Он становится бледно-желтым под воздействием воздуха и растворяется в хлорированных углеводородах, ацетоне, простых и сложных эфирах. Он реагирует с водой, аммиаком и спиртами с образованием углекислого газа и окислов.

В дополнение к этим изоцианатам также используются более сложные составы, такие как 1,5-нафтилендиизоцианат и толуилеидиизоцианат. Эти более дорогие материалы используются для получения более твердых полиуретанов с более высокой температурой плавления.

Химическое название	Класс изоцианатов	Общая аббревиатура
Дифенилметандиизоцианат	Ароматический	МДИ
Толуолдиизоцианат	Ароматический	ТДИ
Гексаметилендиизоцианат	Алифатический	ГДИ
Изофорондиизоцианат	Алифатический	ИФДИ

Все изоцианаты ядовиты и вредны при вдыхании, попадании внутрь или на кожу человека.

## Полиолы

Вторым главным компонентом полиуретанов являются полиолы – соединения, которые основаны на спиртах. Они существуют в различных видах и используются для получения различных материалов: эластомеров для эластичных волокон, простых и сложных эфиров и мочевины для пеноматериалов и лакокрасочных материалов.

Наиболее широко используются полиэфирные полиолы. Это полимеры с высокой молекулярной массой, которые имеют широкий диапазон вязкости. Используются различные полиэфирные полиолы, включающие полиэтиленгликоль, полипропиленгликоль и политетраметилснгликоль.

Полиэстер полиолы являлись наиболее широко используемыми полиолами для производства полиуретанов. Однако в последнее время полиэфирный полиол значительно подешевел и вытеснил из потребления полиэстер полиол.

## Добавки

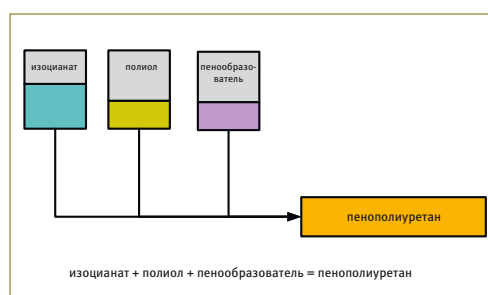
Некоторые материалы из полиуретана могут повреждаться под воздействием тепла, света, атмосферных загрязнителей и хлора, в связи с чем для защиты в их состав добавляются стабилизаторы. Также для предотвращения реакции окисления широко используются антиокислители.

После формирования полимеры из полиуретана имеют естественный белый цвет. Для окраски в их состав добавляют красители. В этих случаях также могут применяться добавки, которые защищают полимеры от обесцвечивания, вызванного воздействием атмосферных загрязнителей.

## 11.4 Полиуретановые пеноматериалы

Пенополиуретаны получают путем вспенивания смеси химических веществ. Происходит реакция, в результате которой создается ячеистая структура с газонаполненными ячейками, что отличает их от материалов твердого или плотного состава.

Количество и размер этих газовых пузырей влияет на плотность и физические свойства полученного пеноматериала.



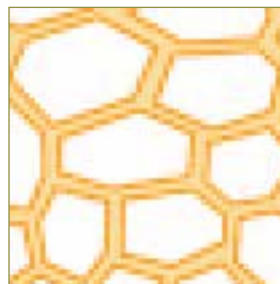
### Структура пеноматериалов

Газовые пузыри, получаемые во время реакции, остаются в ячейках материала и создают пенообразную структуру. Когда ячейки не сообщаются между собой, то такие пеноматериалы называются *замкнутоячеистыми пенопластами*, что отличает их от *поропластов-материалов*, в которых преобладают сообщающиеся (открытые) ячейки, позволяющие газу выходить из матрицы через утонченные или разрушенные мембраны ячейки.

#### Пенопласт с открытыми ячейками

Обычно пенопласт с открытыми ячейками мягкий. Стенки ячейки или сферы газовых пузырей в этом случае разрушены, что позволяет воздуху заполнять все ячейки в материале. Этот эффект делает пеноматериал более мягким и более податливым к механическому воздействию, что отличает его от пенопласта с закрытыми ячейками.

Теплоизоляционные свойства этого пеноматериала определяются теплоизоляционными свойствами неподвижного воздуха, находящегося в матрице ячеек. Плотность пеноматериалов с открытыми ячейками составляет приблизительно 8–12 кг/м<sup>3</sup>.



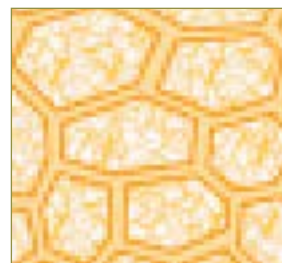
### Пенопласт с закрытыми ячейками

Пенопласт с закрытыми ячейками жестче, чем пенопласт с открытыми ячейками. В зависимости от плотности материала различают различные степени твердости. Пенополиуретан с закрытыми ячейками как правило производится с плотностью 30–50 кг/м<sup>3</sup>. Он обычно достаточно прочен, что позволяет ходить по нему без значительной деформации материала.

Большинство стенок ячеек или пузырей в матрице материала не разрушены. Они напоминают раздутые воздушные шары или футбольные мячи, сложенные вместе в компактную конфигурацию. Это делает пену прочной и жесткой, как надутые шины автомобиля, из-за того, что пузыри достаточно прочны, чтобы противостоять большому давлению. Выбор газа, заключенного в ячейках, также имеет влияние на теплоизоляционные свойства пенопласта, поскольку разные газы имеют различную теплопроводность.

Преимущества пены с закрытыми ячейками, по сравнению с пеной с открытыми ячейками, включают прочность, более высокое значение термического сопротивления и меньшие утечки наполняющих их газов.

Недостаток пенопластов с закрытыми ячейками заключается в том, что они имеют большую плотность и требуют большего количества материала, что сказывается на их цене.



### Вспениватели

Вспениватель (пенообразователь) – это вещество, которое само по себе или в комбинации с другим веществом, генерирует ячеистую структуру в полимере, образуя пеноматериал. Есть различные способы вспенивания полиуретана.

Вспениватели классифицируются на физические или химические. Химические вспениватели (находящиеся обычно в твердой фазе) представляют собой вещества, выделяющие в результате химических реакций газы, а физические вспениватели обычно подвергаются обратимому изменению физического состояния, например, испарению.

Тип пенообразователя	Примеры
Сжатые газы, введенные в смесь химических веществ, находящихся под давлением, которые расширяются при сбросе давления.	Газы, такие как азот или диоксид углерода, под высоким давлением поглощаются и мелкодисперсно распределяются в полимере, предназначенном для вспенивания, а затем расширяются, возвращаясь к нормальному атмосферному давлению.
Жидкости, образующие ячейки при переходе в паровую фазу.	Летучие жидкости, такие как пентан или фторированные соединения, поглощаются и мелкодисперсно распределяются в полимере, предназначенном для вспенивания, а затем расширяются при нагревании, образуя значительный объем пара.
Химические вещества, которые разлагаются или реагируют под влиянием тепла с образованием газа.	Химические пенообразователи, которые варьируются от простых солей, таких как бикарбонат аммония или натрия, до сложных соединений, высвобождающих азот.

Традиционно ХФУ-11 был самым широко используемым пенообразователем для пенополиуретана. С начала выполнения странами Монреальского протокола и последовавшего сокращения потребления ХФУ-11 было разработано много альтернативных вспенивателей. Первоначально замены включали циклопентан в Европе и ГХФУ-141b в США и странах Азии и Тихоокеанского региона.

## Физические свойства жестких пенополиуретанов

У пенополиуретана есть много применений, но большинство из них использует его теплоизоляционные свойства, его высокую конструктивную прочность по отношению к массе и его низкую плотность.

Свойства пены зависят от многих параметров, включая химические составляющие и их соотношение, добавки, выбор пенообразователя и производственного процесса.

Путем изменения этих параметров можно получать разнообразные виды пеноматериалов с различными заданными физическими свойствами для различных областей использования.

Окончательный выбор пеноматериала для специфического применения будет основан на комбинации свойств, которые требуются для данного применения. Так как используемые химикаты и добавки могут быть относительно дорогими, большинство изготовителей стремится найти необходимый баланс стоимости и требуемых рабочих характеристик материала.

Например, жесткие пенополиуретаны используются для производства бытовых холодильников. В этой ситуации пеноматериал действует не только как тепловая изоляция, но и как структурный компонент, обеспечивающий прочность холодильного шкафа и дверей в комбинации с металлическим корпусом.

Существует несколько факторов, которые должны быть учтены в разработке рецептуры теплоизоляционного пеноматериала, включая прочность, коэффициент теплопередачи и плотность. Комбинация этих факторов определяет количество пеноматериала для обеспечения эффективной термоизоляции холодильника и, следовательно, объема и стоимости сырья. Сокращение толщины изоляции могло бы уменьшить стоимость конечного продукта, но это увеличило бы эксплуатационные расходы конечного пользователя, поскольку термоизоляция холодильника будет менее эффективна, что повлечет за собой повышенное энергопотребление.

Во многих странах приняты строгие нормативы, обуславливающие уровни энергопотребления холодильников и морозильников и эффективности теплоизоляции зданий.

Основные параметры, применяющиеся при оценке физических свойств пенополиуретана в метрических единицах:

Свойство	Единицы
Плотность	Кг/м <sup>3</sup>
Прочность на сжатие	Н/м <sup>2</sup>
Прочность на изгиб	Н/м <sup>2</sup>
Прочность на растяжение	Н/м <sup>2</sup>
Модуль упругости	Н/м <sup>2</sup>

Свойство	Единицы
Содержание закрытых ячеек	%
К-фактор (коэффициент теплопередачи)	Вт/м <sup>2</sup> К
Прочность на сдвиг	Н/м <sup>2</sup>
Водопоглощение	%

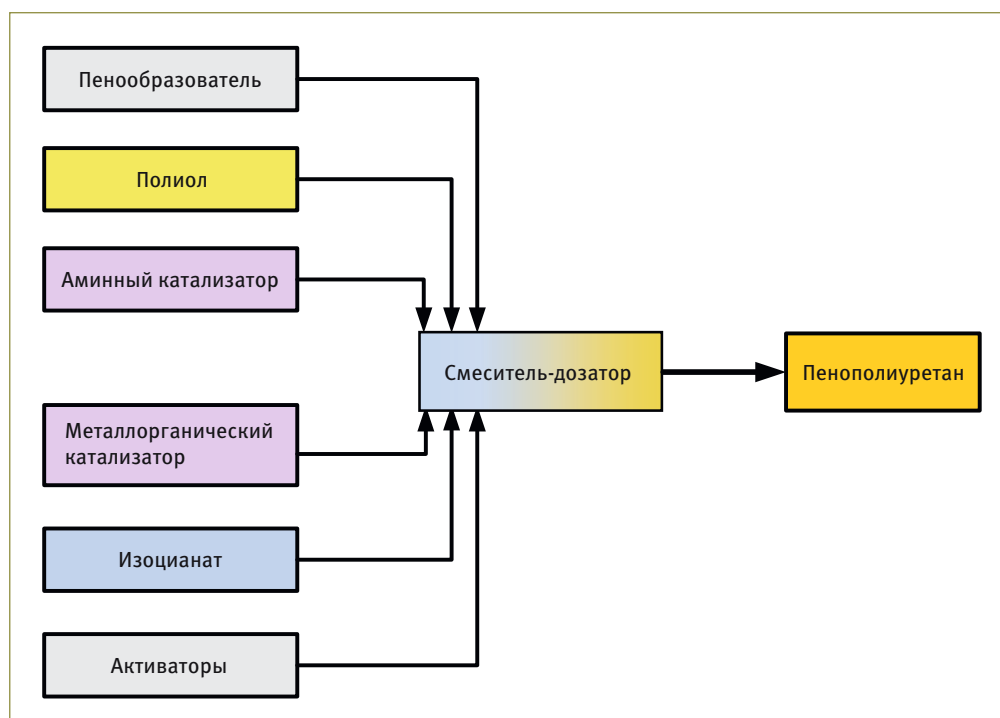
Ключевые свойства пеноматериалов – это коэффициент теплопередачи (К-фактор) и прочность. Однако плотность также крайне важна, так как она влияет на стоимость материала. Кроме того, толщина пеноизоляции должна обеспечивать требуемый К-фактор, что влияет на внутренний объем камеры холодильника, так как внешние размеры устройств заданы стандартами.

## Общий процесс производства пенополиуретанов

Хотя есть много вариантов оборудования для получения пеноматериалов, базисный процесс для производства пенополиуретана аналогичен для всех типов материала, за исключением получения пенополиуретана методом напыления, который производится на месте его будущей эксплуатации.

Основной метод производства пенополиуретана состоит из следующих блоков: хранение и подготовка сырьевых материалов (включая пенообразователь); дозирование материалов (включая пенообразователь) для получения необходимой рецептуры; смешивание материалов и дозированная заливка смеси компонентов полиуретана в пресс-форму или подача смеси на конвейер для заливки в подготовленные полости изделий; и, наконец, затверждение или заключительная обработка.

### Первичные компоненты пеноматериалов



Сырье содержится в индивидуальных резервуарах из нержавеющей стали, где оно перемешивается для предотвращения отвердения, а теплообменниками поддерживается температура компонентов на уровне, необходимом для осуществления реакции.

Каждый резервуар оборудован дозирующим устройством для подачи с помощью насосов определенного количества материалов, участвующих в реакции, и поддержания в смеси заданного соотношения компонентов.

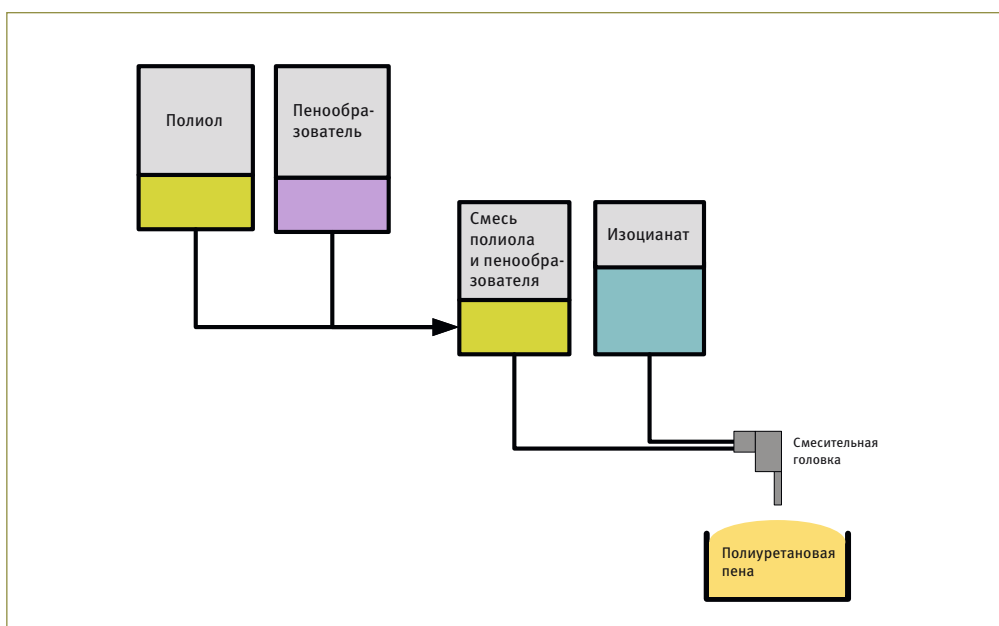
Типовое соотношение полиола к изоцианату 1:2. Так как соотношение компонентов определяет будущие характеристики полимера, процесс дозирования должен быть тщательно проконтролирован. На современном оборудовании это осуществлено с помощью компьютеризированной панели управления.

Реагенты могут подаваться через теплообменники для поддержания необходимой температуры реакции.

Главные компоненты подаются в смеситель или смесительную головку, где они вступают в реакцию с образованием полиуретана. К тому времени, когда жидкая смесь подана в пресс-форму, полиуретан уже химически сформирован.

Пенообразователь может быть заранее перемешан с полиолом или же добавлен в смеситель или смесительную головку под давлением. Смесь полиола и вспенивателя может быть приготовлена на месте в качестве одной из стадий производства пеноматериала или она может поставляться в бочках фирмами-поставщиками в виде готовых рецептур и полиуретановых систем (часто полиол и пенообразователь). Такая форма обеспечения сырьем очень важна для мелких и небольших предприятий, которые не имеют возможности готовить свои собственные полиуретановые системы. Вероятно, что наличие фирм-поставщиков полиуретановых систем («системных домов») будет играть ключевую роль в сокращении потребления ГХФУ в странах 5-й Статьи. Одной из главных преград для использования полиуретановых систем с углеводородными пенообразователями является проблема безопасной транспортировки предварительно смешанных смесей, содержащих углеводороды.

#### Емкости хранения и смесительные устройства





Производители еще не пришли к единому мнению о возможности безопасной транспортировки компонентов, содержащих углеводороды. В настоящее время эти проблемы исследуются посредством реализации ограниченного числа проектов.

Изоцианат смешивается с полиолом и пенообразователем в смесительной головке. Это может быть сделано механически, используя смеситель, оборудованный электродвигателем (заливные машины низкого давления) или в противотоке под высоким давлением (заливная машина высокого давления). Пеноматериал подается через смесительную головку, и пенообразователь, увеличиваясь в объеме, генерирует вспенивание.

Отверждение полиуретана является заключительной фазой производственного процесса, в рамках которого пеноматериал стабилизируется и химическая реакция завершается.

С целью повышения производительности и сокращения времени выдержки пенопласта в пресс-форме этот процесс может быть ускорен посредством нагревания, которое обычно используется при заливке полиуретана в пресс-формы.

Типичная производственная линия пенополиуретанов состоит из двух основных секций: «влажная секция» и «сухая секция».

«Влажная секция» включает в себя емкости для хранения химических компонентов, а также дозирующее, смесительное и заливочное оборудование. «Сухая секция» включает все остальное оборудование производственного цикла после заливки (пресс-формы, конвейерные системы, печи термической выдержки и т.д.).

После заливки посредством смесительной головки пенополиуретан может использоваться для получения разнообразных продуктов. Самые распространенные продукты и производственные процессы описаны ниже.

## 11.5 Жесткий пенополиуретан

### Пенополиуретановый блок

Пенополиуретановый блок представляет собой блок пенопласта большого размера, который используется как материал для множества применений.

Блок жесткого пенополиуретана может быть использован для изготовления готовых изделий различных форм и размеров. Блоки обычно используются для изготовления изоляции трубопроводов и емкостей для хранения, а также изоляционных плит для применения в строительстве и в холодильных транспортных контейнерах.

**Производство  
пенополиуретановых блоков**



## Процесс производства

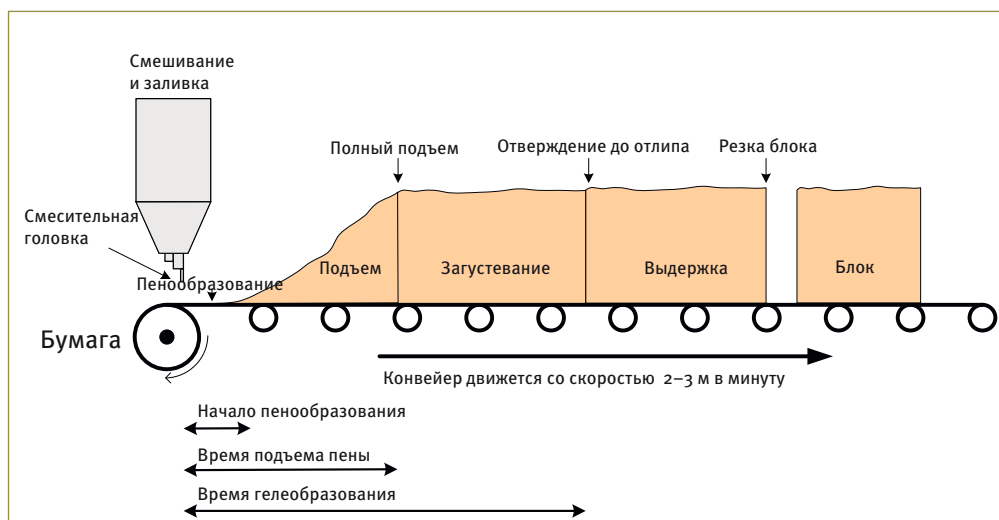
Блоки жесткого пенополиуретана изготавливаются путем циклического или непрерывного производственного процесса.

При циклическом методе производства химические компоненты с медленно протекающей реакцией образования пенополиуретана взвешиваются и вручную или механически смешиваются, а затем заливаются в деревянную или картонную пресс-форму. Пресс-форма оснащена плавающей крышкой, которую поднимает вверх вспенивающийся полиуретан. Крышка удерживает верхнюю поверхность блока на необходимом горизонтальном уровне.

Производительность циклического метода может быть увеличена посредством замены процесса ручного смешивания механическими мешалками или заливочными машинами, которые смешивают и дозированно заливают смесь химических компонентов в пресс-форму.

Как показано ниже, смесь полиуретановых компонентов непрерывно заливается в лоток на движущемся ленточном конвейере, покрытом бумагой или полиэтиленовой пленкой. Полиуретан вспенивается по мере движения по ленточному конвейеру. Система конвейера может быть оборудована таким образом, чтобы удерживать верхнюю поверхность пеноблока горизонтально и на определенном уровне (по аналогии с плавающей крышкой в циклическом процессе).

### Емкости хранения и смешивание компонентов пенополиуретана



В обоих процессах пена поднимается вследствие расширения пенообразователя и затвердевает. После выдержки блок разрезается на секции для использования в упомянутых выше продуктах. Обычно блок не имеет ни обрезаемого края, ни непроницаемого внешнего слоя.

## Теплоизоляция домашних холодильников и морозильников

Жесткий пенополиуретан является наиболее общепринятой изоляцией, используемой в холодильниках и морозильниках. В этих продуктах пенополиуретан служит конструкционным элементом, а также эффективным теплоизолятором.

Хотя основные требования для пеноизоляции в холодильниках/морозильниках одинаковы для большинства изготовителей, особенности производственных объектов, состояние рынка и местные нормативные требования приводят к существенным различиям как в рецептурах, так и в толщине пеноизоляции, используемой в этих устройствах. Важность вопросов энергопотребления во многих странах является определяющим фактором при выборе изоляции.

### Процесс производства

Жидкая смесь полиуретана вводится в полость, образованную внешним корпусом холодильного шкафа и внутренней оболочкой холодильной камеры. Жидкий пеноматериал растекается в этой полости, затем происходит химическая реакция, пена расширяется, застывает и образует слой жесткой пенополиуретановой изоляции во всем объеме полости.

Во время заливки пенополиуретана используются прочные фиксирующие приспособления для поддержки внутренних и внешних стенок, которые испытывают давление расширяющейся пены. Эта пена имеет закрыто-ячеистую структуру с пенообразователем, заключенным внутри каждой ячейки. Как правило, менее 5% пенообразователя улетучивается во время процесса пенообразования.

На небольших производственных предприятиях в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, было принято смешивать компоненты пеноизоляции и заливать в изолирующее пространство холодильника с использованием простого ведра. В настоящее время используются дозировочно-заливочные машины низкого и высокого давления. Машины высокого давления гарантируют лучшую однородность вспененного полиуретана, более высокую производительность, более чистый процесс производства и большую гибкость в применении различных пенообразователей.

Традиционно для получения пенополиуретановой изоляции в этой области использовался пенообразователь ХФУ-11, который во всех отношениях обеспечивал превосходные свойства. Главное внимание при замене ХФУ уделялось сохранению необходимых свойств пенополиуретана.

### Другие, не связанные со строительством применения изоляции

Жесткий пенополиуретан используется как изоляция во множестве других применений:

Водонагреватели	Пеноизоляция гарантирует существенную экономию в потреблении энергии, особенно в изделиях, где место для изоляции ограничено.
Торговые холодильники и морозильники	Это оборудование обычно намного большего размера, чем бытовые устройства, и имеет остекленные двери в охлаждаемых витринах.
Кулеры для пикника	Главным свойством является хорошая изоляция и прочная конструкция из жесткой пластмассы.
Фляги и термосуда	Выпускаются в различном ассортименте. Требования к характеристикам подобны кулерам для пикника.
Транспортные контейнеры-рефрижераторы	Очень строгие требования к рабочим спецификациям с акцентом на прочность и минимальную толщину стен при высокой эффективности изоляции.

### Дозировочно-заливочная машина для производства холодильников



### Процесс производства

Номенклатура изделий, упомянутых выше, изготавливается заливкой пенополиуретана в межстенное изолирующее пространство. В большинстве случаев применяются пресс-формы или фиксирующие приспособления во время процесса вспенивания. Охлаждающие контейнеры также производятся вспениванием секции за секцией в большой, заранее смонтированной крепежной опалубке.

## Плиточный пенополиуретан

Жесткий пенополиуретан может быть ламинирован в непрерывном процессе, используя различные материалы, такие, как алюминиевая фольга, бумага, рулонный кровельный картон и гипсокартон. Получаемые изоляционные панели используются в строительной промышленности, так же как и для других видов изоляции в промышленности и торговле.

Плиточный пенополиуретан используется в строительстве зданий, для изоляции крыши и стен, пустот, внутренних помещений, внешних фасадов и в обшивке стен жилых построек. Обладая очень низкой теплопроводностью, этот материал улучшает энергосберегаемость зданий. Панели с огнестойкими добавками безопасны, прочны и удобны в использовании.

### Процесс производства

Есть две основные технологии непрерывного производства пенополиуретановых панелей с облицовкой из различных материалов. Поточная линия с горизонтальным расположением производит длинный плиточный блок с двусторонней облицовкой гибкими материалами, такими как алюминиевой фольгой, бумагой или кровельным картоном или с облицовкой одной стороны гибким материалом и другой стороны – жестким материалом. Другая технология предназначена для производства плиточного блока с облицовкой только одной стороны жестким материалом.

В обоих случаях химические компоненты дозируются, смешиваются в смесительной головке заливочной машины и инжектируются в пресс-форму, располагающуюся на конвейере. Пресс-форма может подогреваться для сокращения времени полного отвердевания полиуретана. На конечной стадии процесса блок разрезают на плиты нужной длины. Непрерывный способ производства изоляционных плит может быть также организован с использованием технологии получения блоков при свободном вспенивании

#### Производство плиточного блока



## Многослойные (сэндвич) панели

Сэндвич-панели с толщиной от 30 до 200 мм изготавливаются с применением жесткого пенополиуретана, заключенного между двумя слоями облицовки, которая часто профилируется для увеличения жесткости панелей. Материалы, используемые для облицовки, – это обычно стальные, алюминиевые или укрепленные стекловолокном пластмассовые листы.

Многослойные панели используются в строительной промышленности для монтажа холодильных хранилищ для хранения замороженных и свежих продуктов и холодильных камер в больших и малых супермаркетах. Они также используются для сооружения герметизированных помещений или помещений с контролируемой температурой в пищевой или фармацевтической промышленности, в лабораториях и в производстве грузовиков-рефрижераторов и контейнеров-рефрижераторов.

### **Технология производства**

Многослойные панели могут изготавливаться на технологических линиях непрерывного действия, а также стендовым способом. Непрерывный процесс использует установку для формирования горизонтально-расположенных нижней и верхней облицовок из рулонного металла, подобную той, что применяется для производства плиточного блока. Однако в данном случае применяется дополнительный многовальный станок для профилирования рулонной листовой стали, что превращает ее в облицовку с необходимым профилем. В производстве сэндвич-панелей стендовым способом предварительно профилированная или плоская облицовка с соответствующими распорными деталями помещается в единичную или многоэтажную пресс-форму. Пенополиуретан заливают через несколько портов или с помощью распределительной трубки.

#### **Производство многослойных панелей**



### **Напыление**

Пенополиуретан напыляется на структурные элементы для создания хороших теплоизоляционных покрытий. Метод напыления обычно используется для теплоизоляции крыш, а также коммерческих зданий, промышленных емкостей хранения, трубопроводов и канальных систем, транспортных трейлеров-рефрижераторов и цистерн. Напыление производится подрядчиками на соответствующих объектах в соответствии с инструкциями изготовителей систем напыляемого пенополиуретана.

#### **Напыление пенополиуретана**



### **Технологический процесс**

Напыление пены осуществляется с использованием ручного пистолета-распылителя, в котором находящиеся под давлением полиол, жидкие изоцианаты и пенообразователь дозируются, смешиваются и выбрасываются непосредственно на изолируемую поверхность. Отношение составляющих компонентов изменяется в соответствии с заданным применением. Например, изоляция крыши требует более высокой прочности на сжатие, чем изоляция, наносимая на стену, когда пеноматериал должен быть высоко реактивным, чтобы способствовать его удержанию на вертикальных поверхностях во время нанесения.

Метод напыления облегчает покрытие больших и сложных поверхностей. Для создания толстого слоя пены применяются многократные тонкие слои пены, не менее 10 мм.

Трубы также могут быть изолированы распыляемой пеной при использовании стационарного пистолета-распылителя и при вращении и горизонтальном перемещении обрабатываемой трубы.

## Изоляция труб

Изолированные секции трубы в трубе представляют собой стальную трубу, заключенную в оболочку из жесткой пеноизоляции с пластиковым внешним защитным покрытием (предизолированные трубы). Они используются для транспортировки горячих или охлажденных жидкостей либо в подземных трубопроводах или в ситуациях, когда нужно избежать повышения или понижения температуры транспортируемой жидкости.

Например, в районных системах теплоснабжения, где горячая вода перекачивается на значительные расстояния от котельной или другого источника теплоснабжения к многочисленным жилым зданиям, или в промышленном производстве, где охлажденная вода для процесса охлаждения циркулирует в теплообменниках, расположенных на удалении от системы охлаждения. Плотность пеноизоляции, используемой в этих применениях, обычно находится в диапазоне 70–80 кг/м<sup>3</sup>, что удовлетворяет требованиям прочности и долговечности.

Изоляция труб



### Процессы производства

Предизолированные секции трубы в трубе получают введением перемещенных компонентов пеноизоляции в пространство между внутренней (стальной) и внешней (пластиковой) трубами. Предварительно сформованные изолирующие полуцилиндры (скорлупы) получают путем заливки компонентов пеноизоляции в стальные пресс-формы соответствующих типоразмеров. Существуют также непрерывные процессы, в которых пеноматериал инжeksiруется на поверхность внутренней трубы, полимеризуется и затем внешнее покрытие образуется методом экструзии термопластичного материала.

## Однокомпонентный пенополиуретан (ОППУ)

Пенопласты с единственным или одним компонентом используются как в строительной промышленности, так и частными лицами во множестве применений. Они включают уплотнения при прокладывании труб, кабелей, установке дверей и оконных блоков, для уплотнения стыков изоляционных панелей, кровли крыш и изоляции труб. Предпочтение отдается однокомпонентной пене, потому что она портативна и легко применима при обеспечении как тепловых, так и звукоизоляционных свойств.

### Процесс производства

Однокомпонентный пенополиуретан поставляется в баллонах под давлением и в аэрозольных упаковках с соплом, через которое выдавливается тонкая струя материала. После нанесения на



нужную поверхность пеноматериал расширяется при комнатной температуре и затвердевает, реагируя с влагой в воздухе. Эта особенность уникальна для пены с одним компонентом. Пенопласт продолжает затвердевать и внутри, поскольку влага воздуха проникает в толщу пенопласта. Полное время, необходимое для отверждения пены, зависит от температуры и относительной влажности воздуха.

## Другие жесткие пенопласты

Жесткий пенополиуретан также используется в ряде неизоляционных применений, включая упаковочный пенопласт малой плотности, аксессуары для плавательных средств, пенопласт для флористов и пенопласты для демпфирования при боковых столкновениях автомобилей.

Неизолирующие жесткие пенопласты производятся с использованием различных процессов, включающих напыление, формование или получение блоков пенопласта и использующих простое оборудование или заливочные машины высокого давления.

В своем большинстве интегральные пенопласты имеют открыто-ячеистую структуру, при которой пенообразователи, используемые в производстве, выпускаются в атмосферу во время реакции вспенивания или вскоре после того. Жесткие интегральные пенопласты и жесткие пенопласты для использования в плавательных средствах имеют структуру с закрытыми ячейками, но низкая теплопроводность не важна для этих продуктов.

## Формованный/интегральный пенопласт

Формованный пенопласт главным образом используется в автомобильной промышленности для изготовления компонентов внутренней отделки: сидений, подлокотников, подголовников, рулевых колес и многих других деталей салона автомобиля. Он также используется для поглощения звука в автомобилях, в подложке ковров и в изоляции стенок моторного отсека.

### *Процесс производства*

Внутренние поверхности пресс-форм тщательно промываются и затем покрываются антиадгезионной смазкой, что позволяет сформованному изделию легко отделяться от формы в конце процесса. Предварительно смещенный пенополиуретан затем заливается через смесительную головку вручную или автоматически в открытые пресс-формы. Пресс-формы закрываются. Во внутренней полости пресс-формы пеноматериал расширяется, заполняет все внутреннее пространство и полимеризуется.

Пресс-формы открываются после того, как прошло требуемое для полимеризации время, и изделия вынимаются. После извлечения изделий из пресс-форм их часто сминают вручную или с помощью катка. Это помогает открыть ячейки в матрице изделия, которые могут оставаться закрытыми. В некоторых случаях, продукт подвергается последующей термообработке для дальнейшего отверждения и образования более компактной корки.

Интегральный пенопласт имеет низкую плотность внутренней ячеистой структуры, окруженной материалом с более высокой плотностью и почти твердой монолитной пленкой из того же самого материала. В случае интегрального жесткого пенополиуретана структура «оболочка-сердцевина» обладает хорошими эластичными свойствами при низкой плотности материала.

Такой пенопласт находит широкое применение как конструкционный материал. Например, интегральные пенопласты используются в качестве конструкционных элементов мебели, для изготовления футляров для инструментов и автомобильных приборных панелей, где хорошее качество поверхности, низкая теплопроводность и несложная технология делает их приемлемым и экономичным материалом. Интегральные пенопласты также используются для изготовления подошв обуви и других специальных изделий.

Формованные изделия из интегрального пенопласта получают литьем под давлением в закрытые вентилируемые пресс-формы (рулевые колеса) или заливкой в открытые пресс-формы, как в случае изготовления подошв для обуви. Увеличенная плотность поверхностной пленки получается в результате повышенного давления в процессе вспенивания в пристенных зонах формы и разрушением образовавшейся ячеистой структуры.

ГХФУ очень редко используются в этом секторе.

## 11.6 Полистирол

### История вопроса

Полистирол – относительно недорогая и твердая пластмасса. Она используется в изобилии в изготовлении повседневных продуктов: от корпусов телевизоров до пластмассовых стаканчиков и ручек управления для радио.

Однако полистирол широко известен как пенопласт, который используется для изготовления одноразовых стаканчиков для кофе, пищевой и общей упаковки, а также для термоизоляции. Существуют три вида вспененного полистирола:

- Экструзионный плиточный пенополистирол (ЭПС плита)
- Экструзионный листовой пенополистирол (ЭПС лист)
- Беспористой пенополистирол (БПС)

Стаканчик из полистирола



В первые годы действия Монреальского протокола внимание мировых средств массовой информации сосредоточилось на повседневных продуктах из листового пенополистирола (ЭПС), поскольку они были широко распространены и узнаваемы простыми людьми. Поэтому давление, оказываемое на сокращение потребления ХФУ в этих конкретных областях, зависело во многих случаях от мнения потребителей. Поставщиками сырья были разработаны новые рецептуры и изделия из пенополистирола без ХФУ, которые стали доступны на рынке в то же самое время, когда известное использование ХФУ продолжалось.

Потребление вспененного полистирола в целом уменьшилось во многих областях, поскольку были выявлены пожароопасность этого материала и его воздействие на окружающую среду, особенно в Северной Америке и Европе.



## Производство полистирола

Сырой стирол получают из нефти или природного газа. Как и уретан, стирол является мономером, который может полимеризоваться в молекулярные цепи, известные как полистирол. В отличие от полиуретана, это термопластический полимер, а не терморезистивный полимер. Он поставляется как сырье производителям пенополистирола в виде маленьких белых сферических гранул диаметром обычно от 0,5 мм до 1,5 мм.

Невспененные гранулы полистирола



## Беспрессовой вспененный полистирол (БПС)

Беспрессовой пенополистирол (БПС) состоит из отдельных гранул с мелкоячеистой структурой, имеющих весьма малую плотность. БПС необычно легкий, с плотностью во много раз ниже плотности воды. Поскольку его ячейки не связаны между собой, тепло не может легко передаваться через БПС, таким образом, этот материал обладает хорошими изоляционными качествами (хотя не столь хорошими как некоторые типы полиуретана). БПС используется в плавательных средствах, для изоляции, а также в упаковке для транспортировки яиц, мяса, бутербродов, гамбургеров и других продуктов для изготовления одноразовой посуды, кулеров для пикника и многих других подобных изделий.

Упаковка из беспрессового пенополистирола



## Процесс производства

Сначала проводят первичное вспенивание гранул полистирола, используя пар (наиболее общепринятая технология) или горячий воздух (для высокоплотной пены, такой, которая используется для изготовления одноразовых стаканчиков для кофе). Процесс нагревания проходит в емкости, содержащей от 150 до 2.000 литров гранул. При нагревании гранул вспенивающий агент начинает кипеть, полимер размягчается и гранулы расширяются приблизительно в 40 раз по сравнению с их первоначальным размером.

Первичное вспенивание гранул полистирола



Во время первичного вспенивания используется мешалка, препятствующая спеканию гранул. Так как вспененные гранулы легче, чем не вспененные, они поднимаются к поверхности и удаляются. Этот процесс понижает плотность гранул до 3% от их первоначальной плотности. На

выходе из аппарата первичного вспенивания получают БПС с закрыто-ячеистой структурой в виде шариков с гладкой поверхностью, которые являются превосходным материалом для последующего формования в пресс-формах.

После первичного вспенивания гранулы выдерживают в течение, по крайней мере, 24 часов в сетчатых бункерах хранения. Это позволяет воздуху проникать в гранулы, охлаждая и упрочняя их.

Выдержанные гранулы с закрыто-ячеистой структурой помещаются в пресс-форму и снова повторно нагреваются паром. Предварительно вспененные гранулы расширяются, полностью заполняют полость пресс-формы и сплавляются вместе.

В результате формирования почти весь объем БПС (фактически 98%) составляет воздух. Это то, что делает БПС настолько легким и плавучим.

ГХФУ не используются в производстве беспрессового пенополистирола.

#### Машина для формирования вспененного полистирола



## 11.7 Экструзионный пенополистирол (ЭППС)

Экструзионный пенополистирол отличается от беспрессового пенополистирола тем, что в случае ЭППС пенообразователь добавляется в ходе процесса вспенивания, а не содержится в гранулах полистирола.

В рамках деятельности Многостороннего фонда Монреальского протокола было профинансировано много проектов по конверсии производственных предприятий, выпускавших листовой экструзионный пенополистирол, главным образом с целью сокращения потребления ХФУ-12 путем использования углеводородов, а именно бутана и сжиженного газа, в качестве пенообразователей. Использование ГХФУ-22 и ГХФУ-142b в производстве изоляционных плит из пенополистирола все еще широко распространено и продолжает расти в некоторых странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

### Экструзионный листовой пенополистирол

Экструзионный листовой пенополистирол применяется прежде всего для изделий, используемых в сфере общественного питания и упаковки пищевых продуктов, таких как контейнеры на вынос, тарелки одноразового использования, чашки, упаковка для яиц и подносы. Этот вид пенополистирола также используется для изготовления свободно-заполняющего упаковочного амортизационного материала и ламинированных листов, используемых для художественных работ и в виде изолирующей упаковки.

### Процесс производства

Листовой экструзионный пенополистирол производят путем смешения смолы полистирола с добавками и ее последующего расплавления до низкой вязкости. Этот процесс проходит в машине, известной как двухступенчатый винтовой экструдер. Пенообразователи вводят в экструдер под высоким давлением, где они растворяются в расплаве полимера. Расплавленный полистирол затем выдавливается при высокой температуре и давлении через формующую головку соответствующей конфигурации.

#### Экструдер для получения пенополистирола



Как только расплавленный полимер покидает матрицу формующей головки, растворенный пенообразователь испаряется и вспенивается. Эта реакция вспенивает расплавленный полистирол. Кольцеобразная фильера формирует трубу пенополистирола, которая впоследствии разрезается для получения листов пенополистирола. Экструзионные листы пенополистирола выдерживаются обычно в течение 2–4 дней, формируются, разрезаются или скатываются в рулоны.

Формование (вспенивание) пенополистирола производится при условиях высокой температуры и давления, известной как термоформование. Большинство листового пенополистирола в мировом масштабе производится методом термоформования в экструдере.

Процесс термоформования обычно дает значительное количество отходов пенополистирола. В некоторых случаях от 30 % до 40 % выходной продукции экструдера становятся отходами.

Производственные процессы обычно включают измельчение и переработку отходов после термоформирования и резки полученных листов. Измельченные отходы пенополистирола вновь подаются в экструдер. Типичная смесь на входе в экструдер состоит из 65 % цельного полистирола и 35 % переработанного пенопласта.

### Изоляционные плиты из экструзионного пенополистирола

Изоляционные плиты из экструзионного пенополистирола – это жесткий пенопласт с закрытой мелкоячеистой структурой. Он состоит почти полностью из полимера и пенообразователя и, следовательно, обладает низкой плотностью. В целом, приблизительно 90 % плит из экструзионного пенополистирола используются для теплоизоляции.

#### Экструзионная изоляция из пенополистирола



Тип используемого пенообразователя определяет характер ячеистой структуры, сформированной во время реакции вспенивания. Существует два основных типа плиточного пенополистирола: с гладкой поверхностной пленкой и с грубой шероховатой поверхностью, образованной рассеченными ячейками, которая обеспечивает лучшую адгезию штукатурки, клея и бетона.

Пеностирольные плиты с гладкой поверхностью используются как изоляция для крыш, полов и стен в зданиях. Они также используются как защита от промерзания дорог, взлетно-посадочных полос аэродромов и железных дорог в странах с холодным климатом.

Плиты с шероховатой поверхностью используются как изоляция в бетонных зданиях с последующим покрытием штукатуркой или плиткой и как изолирующий материал для сэндвич-панелей. Они также используются в сооружении холодильных камер, а также для различных специальных применений. Их высокое сопротивление влаге также делает их приемлемыми для использования в местах с повышенной влажностью воздуха.

Экструзионные изоляционные плиты из пенополистирола экономичны и практичны для применений в подземных строительных конструкциях, таких как цоколи, фундаменты и крытые землей помещения, а также в инверсионных кровлях для теплоизоляции крыш, когда гидроизолирующая мембрана находится ниже изоляционного материала.

### **Процесс производства**

Экструзионные изоляционные плиты из пенополистирола производят с использованием экструдеров подобно производству листового пенополистирола. Смола полистирола смешивается с добавками и подается в экструдер, где она расплавляется.

#### **Экструзия плит из пенополистирола**



Пенообразователь вводится под высоким давлением и растворяется в расплавленном полистироле. Образуется студенистое вещество, которое охлаждается и затем выдавливается через матрицу с прямоугольным поперечным сечением. По мере того, как гелеобразный полистирол выходит из матрицы, пенообразователь испаряется и вспенивается, формируя структуру с закрытыми ячейками в толще пенополистирола.

Когда пена сформована, она транспортируется далее по непрерывной ленте конвейера и разрезается. На участке резки может также размещаться оборудование для удаления гладкой поверхностной пленки для производства плит с шероховатой поверхностью.

Отходы пеностирола, полученные в процессе производства, могут быть вторично использованы. В этом случае материал должен быть измельчен, кроме того, в результате этого теряется пенообразователь.

В экструзионном пенополистироле с закрытыми ячейками пенообразователь выполняет две функции: он инициирует процесс вспенивания и обеспечивает тепловую изоляцию.

Пенообразователь, который остается в ячейках пенопласта, обеспечивая термоизолирующие свойства, известен как первичный пенообразователь. Он иногда называется изолирующим газом. Иногда используется вторичный или вспомогательный пенообразователь для поддержания или улучшения процесса вспенивания.

Представляется возможным улучшить процесс вспенивания, используя вакуумную технологию вспенивания. Однако первичный пенообразователь все еще требуется для обеспечения термоизолирующих свойств пенопласта.

## 11.8 Полиолефиновые пенопласты

Другая, менее применимая категория пенопластов основана на полиолефинах. Олефины – углеводородные составы, произведенные из нефти, включают бутен, этилен и пропилен.

Полиолефины – это полимеры олефинового ряда, включающие полиэтиленовые и полипропиленовые смолы. Добавки, такие как этилен, винилацетат или сополимерные смолы акриловой кислоты, вводятся в реакционную массу с целью модификации свойств пенопластов.

Для получения полиолефиновых пенопластов используется несколько различных производственных процессов, что дает в результате различные типы пенопластов. Могут использоваться химически-разлагаемые пенообразователи, такие как азодикарбонамид, но получаемые при этом продукты имеют неоднородные свойства и обычно стоят дороже, чем полиолефиновые пенопласты, произведенные с физическими пенообразователями.

Продукты, произведенные с использованием разлагаемых пенообразователей, вообще не рассматриваются как заменители для пенопластов, основанных на несшитых полиолефиновых полимерах.

В большинстве применений полиолефиновые пенопласты используются благодаря их особым свойствам. Самое важное из этих свойств – это способность материала обеспечить изоляцию от механической вибрации и теплового напряжения, вызванных существенными изменениями в температуре продукта.

### Формованный пенопласт

Полиэтилен и с недавних пор также полипропилен начали использоваться для получения вспененных гранул с последующим их формованием в пресс-формах.

Эти пенопласты используются прежде всего в качестве амортизирующей набивки при изготовлении мебели и автомобильных бамперов. В этих материалах ранее широко применялся такой пенообразователь, как ХФУ-11.

Все производители гранул полиэтилена и полипропилена в настоящее время используют углеводороды или углекислый газ. Следовательно, эти пенопласты не подлежат рассмотрению в последующих разделах данного руководства.

### Листовой пенопласт

Вспененные листы из полиэтиленовых и полипропиленовых смол получают методом экструзии.

Эти листовые продукты обычно используются как защитная упаковка для мебели, электронных устройств и других товаров.

Другие применения включают аксессуары для плавсредств (спасательные жилеты и др.), а также строительные и прокладочные материалы.

Листовой упаковочный полиэтилен



ХФУ-11, ХФУ-12 и ХФУ-114 исторически использовались в качестве пенообразователей для большинства листовых продуктов.

## Плиты из пенопласта

Вспененные плиты из полиэтиленовых и полипропиленовых смол также получают методом экструзии. Наиболее часто этот материал применяется для формования демпфированной упаковки специального назначения для электронных или других товаров большой ценности. Некоторый плиточный материал также используются в упаковке для армии, в строительстве, в производстве плавсредств и самолетных сидений, а также для ряда других применений.

Обычно ХФУ-12 и ХФУ-114 использовались в изготовлении плит из вспененного полиэтилена и полипропилена.

## Трубчатая пеноизоляция

Вспененные полиолефины могут также продавливаться в экструдере через формующее отверстие кольцеобразной формы. Получаемая пластиковая труба может быть использована для тепловой изоляции трубопроводов. Пеноизоляцию из полиолефинов применяют для изоляции труб горячего и холодного водоснабжения в жилых помещениях, а также в качестве термоизоляции при «температурах, близких к окружающей среде».

Исторически в этой области ХФУ-12 или ХФУ-114 использовались как пенообразователи.

## Процессы производства

Для получения необходимого продукта методом экструзии смола расплавляется и смешивается с пенообразователем, а затем эта смесь проходит сквозь формочное отверстие, где готовый продукт быстро расширяется и охлаждается.

Для получения листового материала используется матрица с кольцевой фильерой, формирующая тонкостенный полый цилиндр из пенопласта. Этот цилиндр впоследствии разрезается для получения плоского листа, который можно скатать для хранения или отгрузки. Листовые продукты обычно имеют толщину от 3 до 6 мм.

Как правило, плиточный пенопласт получают с использованием специально сконструированной формирующей головки с фильерой заданного профиля. Для получения плит необходимого поперечного сечения требуется фильера соответствующего профиля. Плиты обрезаются по длине и, в случае необходимости, также обрезаются и края. Плиты получают толщиной от 12 до более чем 100 мм и шириной до 1.200 мм. Изредка изготавливаются изделия с круговым или другим прямоугольным поперечным сечением. Существует процесс, когда материалы пенопласта вводятся в закрытую полость, чтобы увеличить устойчивость изделия к деформации.

### Экструзия полиэтиленовых плит





Для получения изоляционного материала цилиндрической формы для изоляции труб используется формовочная головка с кольцевым профилем. При относительно небольшом диаметре получают достаточно толстостенную изоляцию. Внутренний диаметр трубчатой изоляции находится в диапазоне от 6 мм до 125 мм с толщиной стенки от 5 мм до 50 мм.

Все три типа пенопластов являются материалами с закрытыми порами. Таким образом, большая часть пенообразователей заключена в матрице пенопласта. При изготовлении тонколистового пенопласта существенная часть пенообразователя может улетучиться в формовочной головке или сразу после выхода из нее. В случае производства экструзионных плит, труб и более толстого листа лишь небольшая часть пенообразователя теряется из пенопласта на выходе из экструдера, хотя некоторое количество будет потеряно в отделочных операциях, которые открывают ячейки.

## Справочная информация

Название справочного документа	Источник
Корпорация BASF, Справочник по МДИ полиуретану	Корпорация BASF
Производство жесткого пенополиуретана, Dr. Manfred Kapps и Siegfried Buschkamp	Bayer
Сравнение эквивалентных выбросов CO <sub>2</sub> при использовании экструзионных изолирующих пеноматериалов: применение ЭППС для обшивки внешних стен индивидуальных жилых домов в четырех городах США, Nadine Rauscher	Химическая компания DOW
Оценка теплопроводности экструзионных пенопластов, получаемых с применением пенообразователей ГФУ-134а или ГХФУ-142b, Chau V. Vo	Химическая Компания DOW, 1605 Joseph Drive-200 Larkin Center, Midland, MI 48674
Пенообразователь Ecomate® Статья John Murphy, Mark Schulte, Buck Green	Пенное снабжение, Inc.
Жесткие пенополиуретаны и альтернативные пенообразователи, Kyung Won Suh и Andrew N. Paquet, Химическая Компания Dow, Midland, MI, США, ISBN: 0-471-49752-5	Современные стирольные полимеры: Полистирол и стирольные сополимеры
Техническая и экологическая приемлемость ГФУ как пенообразователей для плит из ЭППС, Christer Bratt и Arnaud Albouy	Пеноматериалы Нордик, Швеция
Энергия и последствия применения неаналоговых альтернатив ГФУ и ГХФУ нового поколения для глобального потепления, S. K. Fischer, J. J. Tomlinson, P. J. Hughes	Oak Ridge Национальная лаборатория, США
ГФУ пенообразователи для жесткой пеноизоляции, Lothar Zipfel и Christoph Meurer	Solvay Фтор
Смеси ГФУ для производства ЭППС с лучшими изолирующими свойствами, Lothar Zipfel и Christoph Meurer	Solvay Исследования & Технология, Solvay Фтор и Производные Гмбх
2006 Отчет по жестким и гибким пеноматериалам, Комитет технических вариантов, 2006 Оценка, ISBN 978-92-807-2822-4	ЮНЕП/ГТОЭО
Отчет группы экспертов по технологии и экономической оценке, май 2008, Том 1, Отчет о ходе работ	ЮНЕП/ГТОЭО
Агентство по охране окружающей среды: Офис по выполнению, Обзор резиновой и пластиковой промышленности, 2-я Редакция, Главы I, II, и III, февраль 2005	EPA, США

