

12. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПЕНО-ОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОМАТЕРИАЛОВ

12.1 Введение

Выполнение решения XIX/6 Сторон Монреальского протокола потребует сокращения потребления ГХФУ-141b, ГХФУ-142b и ГХФУ-22 в производстве полиуретановых, полистирольных и полиолефиновых пенопластов. Хотя уже был получен значительный опыт в странах, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, в сокращении потребления этих ГХФУ, информация в этом отношении еще не имеет достаточно широкого распространения, чтобы помочь принятию решения в большинстве стран, действующих в рамках 5-й Статьи. В этом разделе дается краткий обзор имеющихся и новых пенообразователей, альтернативных ГХФУ.

Хотя пенообразователи могут быть эффективно извлечены из изоляции в процессе утилизации домашних холодильников, эффективность применения соответствующих нормативных актов существенно зависит от региона, в котором они применяются. Была проведена существенная дополнительная работа по оценке практической целесообразности извлечения пенообразователя из пенопластов, применяющихся в строительстве. Эффективность затрат в этом случае существенно зависит от установленного порядка обработки строительных отходов, в частности, разделения отходов после сноса зданий. Seriously рассматривается участие углеродного фонда в финансировании обработки накопленных бросовых пенопластов.

12.2 Жесткий пенополиуретан

Производство пенополиуретановых плит

В производстве пенополиуретановых плит широко используется ГХФУ-141b (также используется смесь ГХФУ-141b/ ГХФУ-22), так как эти пенообразователи обеспечивают хорошие термоизолирующие свойства при замене ХФУ-11, а блоки, изготовленные по этой технологии, соответствуют широкому диапазону строительных норм и правил.

N-пентан, изопентан, циклопентан и смеси углеводородов используются в производстве пеноизоляции в тех странах, где уже требуется применение пенообразователей с нулевым ОРП. Однако использование n-пентана и изопентана требует существенных изменений в технологии производства на предприятии для обеспечения безопасности работ из-за высокой огнеопасности этих веществ. Кроме того, у пенопластов с этими пенообразователями есть проблемы в области устойчивости к деформации, низкой теплопроводности и огнеопасности материала с точки зрения норм пожаробезопасности.

Наблюдались проблемы устойчивости к деформации изоляционных кровельных плит в европейских странах, особенно в зимних условиях. Эта проблема возникла из-за высокой точки кипения (36°C) n-пентана, а в некоторых случаях аналогичные трудности наблюдались с ГХФУ-141b.

В промышленности эти проблемы решаются посредством обеспечения необходимой плотности пеноматериала и внедрения новых методов испытаний.

Необходимость соответствовать действующим нормам пожаробезопасности означает, что потенциальные экономические преимущества использования дешевого пенообразователя не

могут быть реализованы на практике. Для снижения огнеопасности, присущей углеводородным пенообразователям, используют огнезащитные добавки (антипирены). Желательно, чтобы эти добавки были реакционно-способными, потому что антипирены без реакционной способности могут привести к пластификации матрицы пеноматериала.

С помощью этих добавок можно обеспечить прохождение большинства ограничивающих тестов, а также части более серьезных тестов. Однако возрастающие требования как гармонизированных критериев ЕС, так и тестов страховых компаний в ряде случаев могут препятствовать применению пеноизоляционных плит с пентановым пенообразователем.

В некоторых случаях для замены ГХФУ-141b использовались альтернативные пенообразователи на основе ГФУ-245fa и ГФУ-365mfc (последний часто смешивался с ГФУ-227ea). Текущая оценка указывает, что эти пенообразователи отвечают требованиям производства, а также большинству требований пожаробезопасности и имеют достаточно хорошие термоизоляционные и физические свойства. Начальные термоизоляционные свойства в этих случаях были бы подобны пенопластам с ГХФУ-141b при меньшей интенсивности потери качества со временем. Однако стоимость использования этих альтернатив может быть существенной, особенно для небольших предприятий.

Использование ГФУ-245fa с менее дорогостоящим (хотя и менее эффективным) вторичным пенообразователем может обеспечить оптимальный баланс эффективность – стоимость для определенных видов применения. Вода является наиболее общепринятым вторичным пенообразователем, используемым достаточно часто из-за ее низкой стоимости и экологической приемлемости. Вода реагирует с другими компонентами системы, генерируя CO_2 , который выступает в качестве дополнительного вспенивателя. Оказалось, что технология получения пенополиуретана с использованием ГФУ-245fa и большого количества CO_2 (вода) в качестве вторичного пенообразователя имеет некоторые преимущества перед другими технологиями. Комбинация пенообразователя ГФУ-245fa/ CO_2 (H_2O) не является огнеопасной. Прямое преимущество с точки зрения производства состоит также в том, что предприятие не должно следовать строгим нормативам безопасности использования огнеопасных материалов. Кроме того, в этом случае отсутствуют выбросы летучих органических соединений (ЛОС), которые имели бы место в случае использования системы с углеводородными пенообразователями.

Ключевые проблемы, касающиеся широкого использования этих пенообразователей в этом секторе, относятся к их ценам и доступности, а также к совокупным затратам на производство пеноизоляционных плит с такой рецептурой. Важно учитывать, что рынок этих материалов очень чувствителен к стоимости производственных затрат, а также то, что на этом рынке имеется несколько продуктов, потенциально готовых заменить пенополиуретаны.

Производство пенополиуретановых блоков

Производство пенополиуретановых блоков распространено в тех областях, где объемы производства ограничены и где требуются нестандартные решения. Требуемые характеристики пеноматериалов будут зависеть от конкретных условий применения. Во многих случаях в этих областях могут предъявляться довольно жесткие требования и, следовательно, при выборе альтернативных пенообразователей необходимо иметь в виду потенциальный диапазон требуемых характеристик продукта. Распространенной областью применения является изготовление изоляционных панелей с металлической или другой облицовкой. Такие панели выпускаются небольшими сериями для изоляции грузовиков-рефрижераторов и в ряде других применений.

В случае применения пенополиуретана для изоляции труб пенопласт подвергается воздействию среды, в которой эксплуатируются трубопроводы. В этих случаях важно, чтобы пеноматериал удовлетворял требованиям пожаробезопасности и влагостойкости.

Наличие альтернативных пенообразователей в этом секторе аналогично ситуации в секторе изоляционных плит. Основным альтернативным пенообразователем для ХФУ-11 был ГХФУ-141b, при этом наблюдается незначительное использование пентана и CO_2 (вода). Варианты выбора пенообразователя схожи как для непрерывных, так и для циклических процессов, хотя существуют дополнительные требования при проектировании производства с использованием углеводородных пенообразователей.

Пентан может использоваться в качестве пенообразователя, хотя потребуются дополнительные усилия по разработке (адаптации) технологии с учетом экзотермической реакции, протекающей при высокой температуре, а также обеспечения безопасной эксплуатации готовых изделий.

Использование вторичного пенообразователя CO_2 (вода) также влечет за собой дополнительные проблемы, связанные с высокотемпературной экзотермической реакцией изоцианата с водой. Необходимо уделять внимание безопасности, особенно на стадии хранения пеноматериала сразу после его получения.

ГФУ-245fa и ГФУ-365mfc прошли успешные испытания в этом секторе применения. Эти пенообразователи технологичны в использовании, а получаемые пеноматериалы обладают приемлемыми свойствами.

ГФУ-245fa также можно использовать с вторичным пенообразователем CO_2 (вода).

Теплоизоляция для бытовых холодильников и морозильников

Жесткий пенополиуретан является доминирующим материалом для теплоизоляции холодильников и морозильников. Пеноматериал также служит элементом, поддерживающим конструкционную прочность устройства. Поэтому пенополиуретан должен обладать адекватной компрессионной прочностью и прочностью на изгиб, чтобы гарантировать целостность конструкции изделия при экстремальных температурных условиях во время транспортировки, а также при его эксплуатации. Пеноматериал должен сохранять свои термоизоляционные свойства и структурную стабильность в течение проектируемого срока службы изделия. Используя ХФУ в качестве пенообразователя производители пеноматериалов успешно справились с разработкой рецептур, отвечающим всем этим требованиям.

По мере того, как были разработаны пенообразователи, заменяющие ХФУ, одновременно были предприняты меры, обеспечивающие сохранение характеристик пеноматериала с тем, чтобы поддерживать рабочие параметры холодильного устройства на приемлемом уровне. Хотя основные требования к пеноизоляции для холодильников/морозильников схожи для большинства производителей, особые условия производства на отдельных предприятиях, состояние местных рынков и локальные нормативные требования влекут за собой необходимость корректировать характеристики пенополиуретана. Например, повышенные требования к энергоэффективности и холодопроизводительности холодильников в Северной Америке заставили производителей США использовать пеноизоляцию с более низкой теплопроводностью, чем

это требовалось на европейском рынке. При этом следует отметить, что нормативы энергопотребления относятся к холодильному устройству в целом, а теплопроводность пеноизоляции является лишь одним из многочисленных факторов.

В ЕС строгие требования потребления энергии были введены в действие с сентября 1999 года и работа, направленная на уменьшение потребления энергии, продолжается в этом регионе в настоящее время. Например, в отчете, подготовленном Европейской комиссией в 2001 году, были отмечены высокие характеристики некоторых из выпускаемых европейских моделей холодильников, которые значительно превосходили коэффициенты энергоэффективности класса А. Эти параметры были достигнуты с помощью применения пенообразователей на основе углеводородов.

Углеводороды

Технология с углеводородными пенообразователями была главным образом основана на «чистом» (95 % чистоты) или «техническом» (75 % чистоты) циклопентане. Существенного различия в их рабочих характеристиках практически нет. Обе марки легко смешиваются с другими компонентами специально разработанной рецептуры. Циклопентан пожаровзрывоопасен, поэтому важны дополнительные меры безопасности на предприятии. Данные меры четко определены и успешно выполняются. Они включают в себя установку специализированного резервуара хранения для циклопентана, предварительных смесителей и дозирующих заливных машин высокого давления во взрывобезопасном исполнении; установку пресс-форм (часто охлаждаемых водой); дополнительной вентиляции; углеводородных датчиков; электрического оборудования соответствующей классификации, а также реализации комплекса мер по предотвращению образования статического электричества и, прежде всего, по обучению технического персонала процедурам и правилам безопасной работы. В силу экономических факторов выполнение этих требований значительно осложняет конверсию на эту технологию, особенно на небольших предприятиях.

Однако в этом секторе существенное количество предприятий даже в развивающихся странах являются предприятиями достаточно большого размера, что позволяет осуществить экономически приемлемую конверсию на применение углеводородных технологий, и достаточно много предприятий в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, уже перешли от ХФУ к технологии с углеводородными пенообразователями.

Для расширения использования этой технологии в других регионах мира, включая некоторые штаты США, необходимо предпринимать дополнительные меры по ограничению выбросов летучих органических соединений.

Пластмасса, применяемая для изготовления внутренней камеры в холодильниках с ХФУ пенообразователем, может успешно применяться в сочетании с пеноизоляцией на основе углеводородного пенообразователя.

Как правило, при переходе от ХФУ-11 к циклопентану типичная пеноизоляция с циклопентановым пенообразователем имеет суммарную плотность около 38 кг/м³, что на 15–18 % выше плотности пеноизоляции, получаемой с пенообразователем, содержащим 50 % ХФУ-11. Исходная теплопроводность пеноизоляции увеличивается на 12–13 % и достигает приблизительно 20,8 мВт/м²К (при 10 °С). Оптимизация рецептуры пеноматериала позволяет уменьшить плотность до 36 кг/м³ (увеличение по сравнению с исходной плотностью на 10–13 %), а также снизить теплопроводность до 20,2 мВт/м²К (улучшение на 7–10 % по сравнению с исходной), соответственно. Увеличение теплопроводности эквивалентно увеличению потребления энергии холодильника приблизительно на 5 % относительно исходных значений энергопотребления, полученных с использованием пеноизоляции с пенообразователем ХФУ (содержание которого было снижено на 50 %).

Дальнейшее развитие систем с углеводородами предусматривает использование смесей, которые уменьшают связанные с повышением плотности полиуретана затраты, не увеличивают теплопроводность пеноизоляции (а может даже уменьшают ее при рабочих температурах в холодильниках и, особенно, в морозильниках). Например, оптимизированная пеноизоляция на основе пенообразователя циклопентан/изопентан имеет общую уменьшенную плотность, равную приблизительно 35 кг/м^3 (увеличение на 6–8%, по сравнению с пеноизоляцией, полученной с пенообразователем, содержащим 50% ХФУ-11) и теплопроводность, равную пеноизоляции с лучшей циклопентановой системой. Другой подход заключается в использовании смеси циклопентан/изобутан для достижения тех же результатов с дополнительным преимуществом более низких значений теплопроводности при низких температурах из-за более высокого давления пара в ячейках пеноматериала. Имеется незначительное использование смесей изопентана и пентана в тех регионах, где циклопентан не доступен. В этих случаях используются изо/нормальные изомеры пентана, несмотря на то, что их теплоизоляционные характеристики хуже.

ГФУ
ГФУ-245fa
ГФУ-365mfc

Также на рынке активно продвигаются неуглеводородные альтернативные для ГХФУ пенообразователи, основанные на ГФУ-134a и ГФУ-245fa.

Пенопласты с пенообразователем ГФУ-134a появились в то время, когда на рынке отсутствовали ГФУ, которые можно было бы применять в жидкой фазе. ГФУ-134a недолго применялся в качестве пенообразователя для производства холодильников, но продолжает использоваться в этом качестве на нескольких предприятиях и сегодня. Главные недостатки использования этого пенообразователя состоят в следующем: неудовлетворительная совместимость с рецептурой, обусловленная тем, что ГФУ-134a используется в газовой фазе и имеет плохую растворимость в полиольных системах, а также неудовлетворительная теплопроводность пеноизоляции, которая на 15–20% выше по сравнению с пеноизоляцией на основе ХФУ-11.

Напротив, оценка ГФУ-245fa показывает, что он является технически жизнеспособным пенообразователем для этого применения с плотностью пеноизоляции, сравнимой с материалами, полученными с использованием ХФУ-11. Теплопроводность пеноизоляции составляет приблизительно $18,5 \text{ мВт/м}^2\text{К}$ (при 10°C), а энергопотребление холодильника эквивалентно агрегатам с пеноизоляцией на основе ГХФУ-141b и до 10% ниже, чем у таких же агрегатов, использующих пеноизоляцию на основе углеводородных пенообразователей. Точка кипения ГФУ-245fa – $15,3^\circ\text{C}$ может означать, что для его использования будет необходимо герметизированное смесительное оборудование, но во многих случаях ГФУ-245fa может применяться с оборудованием, разработанным для использования ХФУ-11 и ГХФУ-141b. Очень важной характеристикой ГФУ-245fa является его очень хорошая растворимость в полиольных рецептурах. Пластмасса, применяемая для изготовления внутренней камеры в холодильниках с ХФУ пенообразователем, может успешно применяться в сочетании с пеноизоляцией на основе ГФУ-245fa, за исключением некоторых пластмасс с акрилонитрил-бутадиен-стиролом.

Неаналоговые альтернативы

Вакуумные изоляционные панели продолжают разрабатываться и используются в ограниченном количестве. Строго говоря, их производство не продиктовано необходимостью заменить пеноизоляцию на основе ХФУ-11, но эта технология действительно позволяет поддержать или улучшить эффективность изоляции, когда используются пеноизолирующие материалы с худшими характеристиками по сравнению с технологией, основанной на ХФУ-11. В настоящее время производятся холодильники и морозильники, использующие вакуумные панели с открытопористой жесткой полиуретановой изоляцией. Они позволяют, например, сократить потребление энергии примерно на 20% или увеличить на 25% внутренний объем холодильной камеры при том же потреблении энергии. Очевидно, что конкретное применение этой технологии зависит от конструктивных особенностей модели.

Другие холодильные установки

Другие холодильные установки включают торговые холодильники и морозильники, охлаждаемые витрины, торговые автоматы, камеры охлаждения, а также изделия, требующие эффективной изоляции при ограниченном весе самой конструкции, например, водонагреватели, в которых пеноизоляция дает существенную экономию в потреблении энергии и особенно в установках с ограниченным объемом для размещения изоляции.

В некоторых регионах осуществляется контроль над потреблением энергии. Например, Министерство энергетики США утвердило стандарты эффективности использования энергии, а также подобные стандарты введены в странах Европейского Союза.

Циклопентан используется для коммерческих холодильников и морозильников в тех странах, где имеется требование использовать пенообразователи с нулевым ОРП.

Пеноизоляция некоторых торговых автоматов и водонагревателей изготавливается с помощью CO₂ (воды). В водонагревателях невысокая эффективность тепловой изоляции в некоторых случаях может быть скомпенсирована увеличением ее толщины.

Пенообразователи ГФУ-245fa и ГФУ-365mfc рассматриваются в качестве возможных заменителей ГХФУ-141b. Важным фактором, который может ограничить широкомасштабное использование ГФУ-245fa в условиях умеренного и тропического климата, является вопрос о возможности его поставки в виде предварительно смешанных полиольных рецептур. В настоящее время эта проблема изучается.

Различные изомеры пентана также являются технически приемлемыми вариантами, но стоимость соответствующих мер по обеспечению безопасности и трудность в поставке предварительно смешанных составов могут стать серьезным препятствием для их масштабного использования, так как многие потребители в этом секторе являются сравнительно небольшими предприятиями.

Строительные сэндвич-панели

Эти панели все чаще используются в строительной промышленности и имеют широкое и разнообразное применение. Сэндвич-панели также используются в транспортной промышленности для изготовления грузовиков-рефрижераторов с термоизоляцией.

В любом из подобных применений изолирующее свойство пеноматериала рассматривается в сочетании с прочностными характеристиками пенопластов. Панели используются в виде компонентов высококачественной модульной строительной технологии, чем обусловлен быстрый рост их использования в развитых и развивающихся странах.

Производство панелей непрерывным способом

N-пентан может использоваться с производственным оборудованием, которое приспособлено для работы с пожаровзрывоопасными веществами.

ГХФУ-134a также используется в некоторых случаях, так как плохая растворимость ГФУ-134a в полиолах не является серьезным препятствием в этом применении в силу того, что повышенная

плотность пеноматериала, используемого в строительных панелях, не требует высокой концентрации пенообразователя. Другая причина состоит в том, что ГФУ-134а используется с вторичным пенообразователем CO_2 (вода), чем предопределяется снижение его потребления.

В этом виде пеноизоляции существуют еще более жесткие требования к использованию пожаровзрывоопасных пенообразователей, в связи с чем пенообразователи на основе ГХФУ (особенно на основе ГХФУ-141b) являются предпочтительными решениями и использование n-пентана в более широком масштабе в ряде случаев не находит поддержки.

В этом секторе ГФУ-245fa и ГФУ-365mfc (вместе с n-пентаном) рассматриваются в качестве наиболее перспективных вариантов замены. Имеющиеся оценки демонстрируют их потенциальную техническую пригодность, но, как и в случае с изоляционными плитами, промышленность до сих пор не определилась в отношении экономичности их использования.

Стендовый способ производства изоляционных панелей

Варианты выбора пенообразователей и требования рынка в основном аналогичны производству непрерывным способом. Существует потребность в пожаробезопасных предварительно смешанных системах для малых предприятий как в развитых, так и в развивающихся странах.

Предварительно смешанные рецептуры с ГФУ-134а уже присутствуют на европейском рынке. Несмотря на низкую растворимость этого пенообразователя в полиольных системах его потребление составляет приблизительно 2% смеси CO_2 (вода)/ ГФУ-134а.

ГФУ-245fa и ГФУ-365mfc также рассматриваются в качестве замены для ГХФУ-141b.

С точки зрения безопасности существуют серьезные опасения в отношении применения предварительно смешанных систем полиола с пентаном, в связи с чем эти системы фактически отсутствуют на рынке. Однако как циклопентан, так и n-пентан использовались в европейских и некоторых развивающихся странах в ситуациях, когда могли быть обеспечены прямые поставки пенообразователя.

Напыляемая пенополиуретановая изоляция

Напыляемая пенополиуретановая изоляция используется для изоляции объектов в месте применения. В основном для замены ХФУ пенообразователей используются ГХФУ-141b и CO_2 (вода).

Ни газообразные ГХФУ и ГФУ, ни пентаны не являются подходящими для применений в этом секторе, так как газообразный пенообразователь не обеспечивает необходимого качества пеноматериала из-за чрезмерного вспенивания и приводит к недопустимым потерям пенообразователя. Воспламеняемость пентанов также сделала бы их применение на месте нанесения вспененных материалов неприемлемым.

Пенообразователь CO_2 (вода) может использоваться в случаях, когда допускается 50%-ное увеличение толщины слоя изоляции для обеспечения эквивалентной эффективности изоляции. Дополнительной проблемой является необходимость увеличения плотности приблизительно на 30% для изоляции с низкой плотностью (порядка 32 кг/м³), но эта проблема исчезает в случае использования пеноизоляции с более высокой плотностью (например, при проведении кровельных работ).

Оборудование для напыления может быть модифицировано для обеспечения расхода материалов по двум компонентам в соотношении приблизительно 1,5:1.

В Японии появилась технология, основанная на использовании CO_2 в сверхкритической области, но эта технология вряд ли будет широко тиражироваться в других странах в ближайшее время.

Были разработаны системы, основанные на ГФУ-245fa и ГФУ-365mfc, направленные на замену ГХФУ-141b. Они включают системы, основанные на комбинации ГФУ-245fa и (CO_2) вода.

Изоляция типа «труба в трубе»

В секторе производства изоляции типа «труба в трубе» главные альтернативные пенообразователи – циклопентан и CO_2 (вода), отвечающие критериям эффективности изоляции. Единственное существенное различие состоит в том, что при применении пенообразователя CO_2 (вода) требуется увеличить толщину изоляции для получения эквивалентной эффективности.

Два «жидких» варианта ГФУ: ГФУ-245fa и ГФУ-365mfc еще не прошли всех необходимых испытаний для применения в этой области.

Однокомпонентная пенополиуретановая изоляция

В однокомпонентных системах требуется газообразный пенообразователь/пропеллент, при этом теплопроводность пеноизоляции не является критическим требованием. Газообразные пенообразователи/пропелленты, такие как ГФУ-134a и ГФУ-152a, пропан, бутан и диметиловый эфир (ДМЭ) являются технически пригодными и широко используются в настоящее время.

Эти вещества часто используются в виде смесей. Например, смесь ГФУ-134a/ДМЭ/пропан/бутан широко используется в Европе. Огнеопасные смеси используются приблизительно в 80 % всего европейского рынка по причине их высокой рентабельности.

Однако для гарантированно безопасной работы с углеводородами необходимы значительные модификации процесса производства и условий хранения в складских помещениях.

Пеноизоляция для авторефрижераторов

В этом секторе предъявляются довольно жесткие требования к качеству изоляции с точки зрения длительности ее эксплуатации при минимальной толщине стенок и удовлетворительных теплоизоляционных свойствах. В большинстве случаев термоизоляция охлаждаемых полуприцепов выполняется в виде сэндвич-панелей, которые изготавливаются стендовым способом, хотя существует технология заполнения пеноизоляцией отдельных секций с использованием крупногабаритной технологической оснастки с опалубкой.

Изоляция изотермических автофургонов выполняется по технологии изготовления изоляционных панелей стендовым способом.

Термоизоляция для полуприцепов-рефрижераторов обладает более толстой твердой оболочкой, что достигается использованием специальной технологической оснастки.

Хотя требования к теплоизоляционным свойствам могут быть достаточно высокими, в определенных случаях в авторефрижераторах может применяться пеноизоляция на основе углеродородных пенообразователей с использованием соответствующих конструктивных решений. В этих случаях обычно применяют пентаны и другие подобные пенообразователи.

Другие применения жестких пенополиуретанов

В эту категорию входят пенополиуретаны, получаемые с помощью различных процессов, включая напыление, заливку в готовые полости, заливку в пресс-формы и изготовление теплоизоляционных блоков. Представляется затруднительным выделить определенные альтернативные технологии для каждого применения. В большинстве случаев могут использоваться все известные системы вода/CO₂, а для упаковочных пенопластов – метилхлорид.

12.3 Интегральные пенопласты

Эта категория может быть подразделена на интегральные эластичные пенопласты и интегральные жесткие пенопласты. Главные требования к пенообразователю в обоих секторах касаются легкости обработки, эффективности формирования поверхностной пленки, плотности пенопласта и стоимости обработки пресс-формы (например, покрытие внутренней полости пресс-формы).

Интегральные эластичные пенопласты

Выбор технологии для этого вида применения будет в значительной степени зависеть от действующих норм и необходимой спецификации продукта. Например, в большинстве промышленно-развитых стран обязательно применение пенообразователей с нулевым ОРП, несмотря на их недостатки, касающиеся таких аспектов, как качество поверхностной пленки и плотность.

Несколько рекомендованных спецификаций, особенно в ЕС, поощряют использование рецептур с пенообразователем вода/CO₂. Такая технология теперь доступна для всех применений, но может потребоваться дополнительная обработка внутренней поверхности пресс-формы. ГФУ-134а также используется при таком применении, что может потребовать специального покрытия внутренней поверхности пресс-формы для получения качественной поверхностной пленки.

Вспениватель n-пентан может также использоваться в областях, где требуется очень прочная оболочка, таких как изготовление подошвы для обуви, оборудования для тренажерных залов, рулевых колес и приборных панелей для автомобилей.

Интегральные жесткие пенопласты

В этой области широко доступны и, там, где они пригодны, обычно используются системы вода/CO₂.

12.4 Экструзионный пенополистирол

Экструзионный листовой пенопласт

Экструзионный листовой пенопласт главным образом используется для упаковки в пищевой промышленности, где основные требования относятся к номинальным теплоизоляционным свойствам и устойчивости к деформации. Поскольку эти требования легко достижимы при условии применения экструзионного листового пенопласта, то выбор пенообразователя не является решающим фактором в отношении качества конечного продукта. В большинстве случаев при переходе от ХФУ к альтернативным технологиям удалось избежать применения ГХФУ и сразу начать использование углеводородных пенообразователей. Есть также несколько других пенообразователей, доступных для использования, поэтому применение ГХФУ не является технологически оправданным, как в странах, действующих, так и не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

Был изучен широкий диапазон альтернативных пенообразователей для использования в полистирольном листовом пенопласте, включая атмосферные газы (углекислый газ и азот), а также углеводороды (бутан, изобутан, пентан и изопентан). Для данного производства могут также использоваться ГФУ (ГФУ-134а и ГФУ-152а) и смеси углеводороды/CO₂ (жидкий диоксид углерода).

Атмосферные газы	CO ₂ (жидкий диоксид углерода) считается технически оправданной альтернативой и лицензии на эту технологию доступны. Есть мнение, что стоимость этой технологии будет дороже углеводородов с учетом стоимости лицензии. Газообразный азот весьма плохо растворим, и в результате его применения получается высокоплотный мелкопористый пенопласт с низкой устойчивостью к деформациям. Этот пенообразователь неудобен в работе, и поэтому не удается получить пенопласт высокого качества. По этим же причинам азот не рекомендован в качестве приемлемого пенообразователя с нулевым ОРП.
Углеводороды (бутан, изобутан, пентан и изопентан)	Углеводороды позволяют получать листовой пенопласт хорошего качества и с относительно низкой стоимостью. Из-за их высокой пожаровзрывоопасности обязательно применение строгих мер безопасности в производстве, хранении, обработке, транспортировке и использовании конечным потребителем. Эти меры по обеспечению безопасности должны включать периодические проверки их неукоснительного соблюдения. Углеводороды, являющиеся летучими органическими соединениями (ЛОС), вносят вклад в образование озона и смога в приземном слое атмосферы и подпадают под ограничения во многих регионах мира. Применение углеводородов обычно требует дополнительных капитальных вложений (контроль за выбросами, оборудование для обеспечения безопасности и т.д.).
ГФУ	ГФУ (ГФУ-134а, ГФУ-152а) были внедрены на некоторых предприятиях по изготовлению листового пенопласта. ГФУ-152а пожаровзрывоопасен, требует модернизации оборудования и соблюдения мер безопасности. Никакие средства контроля за выбросами ЛОС не нужны. Эта альтернатива по стоимости превышает технологии с использованием диоксида углерода или углеводородов.
Смеси: углеводороды/CO ₂ (жидкий диоксид углерода)	Хотя смеси определенно жизнеспособны, их используют лишь несколько предприятий. Необходимость в дополнительном оборудовании для хранения, обработки и контроля за выбросами лишь один из недостатков этой альтернативной технологии.

Экструзионные плиты из пенопласта

Поскольку теплоизоляция зданий является основной областью применения экструзионных пенопластовых плит, оптимизация теплопроводности всегда находится в центре внимания

разработчиков, производителей, архитекторов и строителей. Это обстоятельство особенно важно с учетом высокого уровня конкурентной борьбы на этом рынке. Кроме того, пенообразователи оказывают значительное влияние на процесс производства пенопластовых плит, в связи с чем хорошая растворимость пенообразователя в системе является ключевым фактором для успешного производства. Плотность пеноматериала для изоляционных плит должна тщательно контролироваться для оптимизации производственных затрат и огнестойкости продукта, что позволит избежать лишнего влияния на стоимость продукции и необходимости предпринимать противопожарные меры. Требования к эксплуатационным характеристикам и, следовательно, выбору пенообразователя в отношении экструзионных пенопластовых плит значительно отличаются от аналогичных требований в производстве листового пенопласта.

Производители экструзионных пенопластовых плит в Северной Америке к концу 2009 года смогли отказаться от использования ГХФУ. В качестве альтернативных вспенивателей были внедрены технологии с использованием комбинации ГФУ, CO_2 , углеводородов и воды. Существенные особенности требований к пеноизоляции на североамериканском рынке (плиты меньшей толщины и большей ширины с различными стандартами термосопротивления и огнестойкости) определяют выбор рецептур, которые отличаются от рецептур, применяемых для производства экструзионных плит из полистирола в Европе и Японии. Эти новые рецептуры почти исключительно основываются на ГФУ-134а в качестве основного конечного выбора пенообразователя.

В настоящее время ГХФУ-142b и ГХФУ-22 являются наиболее широко используемыми переходными пенообразователями для экструзионных плит из пенопластов из-за хороших изоляционных характеристик этих газов. В странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, было создано много небольших предприятий по производству экструзионных пенопластов с использованием ГХФУ-142b, обладающих хорошим термосопротивлением, но позднее эти предприятия переключились на применение ГХФУ-22 из-за его дешевизны.

Хотя некоторые альтернативы с нулевым ОРП коммерчески доступны, они не в состоянии удовлетворить всем требованиям, предъявляемым к ассортименту, теплоизоляционным характеристикам, растворимости в системах, сопротивлению к деформации, возможностям производства пенопластов с малой плотностью и экономической рентабельности для всех требующихся продуктов на всех рынках одновременно. Предлагается несколько потенциально жизнеспособных альтернативных пенообразователей для экструзионных полистирольных плит.

Поставщики оборудования в настоящее время работают над модернизацией существующих устройств для введения CO_2 в экструдер. Там, где не может использоваться CO_2 в баллонах, требуется установка дополнительных хранилищ. Стоимость такой модернизации производства оценивается приблизительно в 15.000–50.000 долл. США.

Применение такой технологии могло бы позволить заменить до 30% пенообразователей на основе ГХФУ. Однако полная замена ГХФУ чистым CO_2 не представляется возможной по ряду причин.

Полное прекращение потребления ГХФУ потребует их 100%-ной замены, но ГФУ-134а и/или ГФУ-152а рассматриваются как слишком дорогостоящие для некоторых рынков, включая таких главных производителей, как Китай.

Продолжается работа со смесями CO_2 /этан и CO_2 /углеводороды, что позволило бы расширить области применения альтернативных пенообразователей. Некоторые эксперты предсказывают, что могло бы быть возможным повсеместное применение углеводородов (n-бутан), но в этих случаях потребуются установка дополнительных систем вентиляции для удаления пенообразователя, выделяющегося из готового продукта в местах хранения, предотвращающих риск возникновения пожара.

ГФУ-134a	Доступность и сравнительно хорошая рентабельность по сравнению с другими альтернативами с нулевым ОРП позволяет рассматривать ГХФУ-134a в качестве весьма перспективного заменяющего пенообразователя. Сдерживающими факторами являются недостаточная растворимость в системе во время процесса, что препятствует получению необходимой гаммы продуктов, а также их более высокая плотность и более высокая цена по сравнению с другими альтернативами ГХФУ. Воспламеняемость не вызывает большого беспокойства во время изготовления, хранения и использования. Теплопроводность пеноматериала вероятно может быть эквивалентна продуктам с ГХФУ. Продолжается работа по улучшению технологических характеристик и повышению рентабельности.
ГФУ-134	Как изомер 134a, ГФУ-134 обладает большей растворимостью в полистироле. Он быстрее диффундирует из пеноматериала, чем ГФУ-134a. Следовательно, должны использоваться большие стартовые концентрации для достижения эквивалентной долгосрочной эффективности изоляции. ГФУ-134 более дорог для производства, и в комбинации с необходимостью увеличения концентрации в системе делает этот выбор экономически невыгодным. В настоящее время отсутствуют производители, планирующие выпускать этот продукт на коммерческой основе.
ГФУ-152a	ГФУ-152a как альтернатива в секторе экструзионного пенополистирола не обладает техническими преимуществами перед ГФУ-134a. Ограниченные по объему поставки определяют более высокую стоимость этой альтернативы по сравнению с ГФУ-134a. ГФУ-152a пожаровзрывоопасен и требует дополнительных капиталовложений для обеспечения хранения, обработки и пожаробезопасности.
ГФУ/CO ₂ смеси	CO ₂ (жидкий диоксид углерода) в комбинации с ГФУ-134a или с ГФУ-152a имеет потенциал для повышения рентабельности пенообразователя. У самого CO ₂ растворимость в пенопласте слабее, чем у ГФУ, и, следовательно, задачей будущего является производство достаточного ассортимента продукции с низкими плотностями. Промышленность планирует продолжать работать над этими смесями с учетом их хорошего экономического потенциала и нулевого ОРП.
Смеси CO ₂ /органические пенообразователи	Органические пенообразователи в сочетании с CO ₂ (жидкий диоксид углерода) позволяют производить полную гамму пенопластов с низкой плотностью. Органические пенообразователи (например этанол) обычно огнеопасны (требуются капитальные затраты на модернизацию электрооборудования) и являются летучими органическими соединениями, что приводит к необходимости контроля за выбросами во многих областях. С использованием этой технологии производятся пенопласты, имеющие тепловое сопротивление (R) на 10–15 % ниже, чем пенопласты, получаемые с ГФУ.
100 % CO ₂	Хотя эта альтернатива наиболее экологически предпочтительна, она технически является самой трудной для воплощения и коммерциализации. Сегодня возможности использования этого продукта ограничены, т.к. плотности получаемого пенопласта выше, чем те, которые производители могут себе позволить с экономической точки зрения. Требуются существенные капиталовложения для конверсии производства с использованием CO ₂ (жидкий диоксид углерода). В дополнение к этим капиталовложениям необходимо осуществить значительные научно-исследовательские работы для устранения недостатков в рецептурах. Теплоизоляционные свойства получаемого продукта также ниже на 10–15 % в сравнении с обычной технологией ГХФУ.
Углеводороды	Углеводороды (бутан, пентан и т.д.) демонстрируют хорошую технологичность из-за их растворимости в пенополистироле при относительно низкой стоимости. Из-за их высокой пожаровзрывоопасности обязательно соблюдение строгих мер безопасности в производстве, хранении, обработке, транспортировке и использовании конечными потребителями. Эти меры по обеспечению безопасности должны включать периодические ревизии по безопасности (аудит). Углеводороды, являющиеся летучими органическими соединениями (ЛОС), вносят свой вклад в образование озона и смога в приземном слое атмосферы и подпадают под ограничения во многих регионах мира. Для использования данной альтернативы требуются существенные капиталовложения (контроль за выбросами, оборудование для обеспечения безопасности и т.д.). Их наибольший недостаток проявляется в таких свойствах пеноизоляции, как пожаровзрывоопасность и потери в эффективности теплоизоляционных свойств.

ГФУ, вероятно, останутся важными альтернативами для тех продуктов, в которых ключевыми свойствами являются отсутствие воспламеняемости, хорошая сопротивляемость деформации и повышенная эффективность теплоизоляции.

12.5 Полиолефиновые пенопласты

Один из первичных критериев в выборе пенообразователя состоит в том, чтобы скорость диффузии пенообразователя из пеноматериала соответствовала скорости диффузии воздуха в матрицу пенопласта. Это соответствие необходимо из-за эластичности смолы полиолефина. Если скорости диффузии недостаточно хорошо подобраны, то пеноматериал даст усадку или расширится во время стадии выдержки. Это недопустимо во всех трех типах продуктов из пенопласта: листовых, плиточных и трубчатых. Иногда применяются модификаторы проницаемости для того, чтобы привести в соответствие эти скорости диффузии там, где они недостаточно близки.

Первоначально выбор для производителей полиолефиновых пенопластов состоял в том, чтобы перейти к углеводородам непосредственно и сразу или же, используя переходные пенообразователи ГХФУ-142b или смеси ГХФУ-142b/ГХФУ-22, сохранить традиционные физические свойства, особенно в области амортизирующих наполнителей. Имеющийся опыт показывает, что переход от использования пенообразователей ГХФУ к углеводородам вполне осуществим.

Углеводороды

Смесь бутана и изобутана является наиболее частым выбором. Пентан также используется в относительно небольшом числе случаев.

Так как углеводороды пожаровзрывоопасны, переход к этим пенообразователям требует соответствующей модернизации оборудования с учетом требуемых национальным законодательством мер безопасности при производстве, хранении, обработке и отгрузке продукции.

Необходимо осуществлять периодические проверки соблюдения мер безопасности, чтобы гарантировать выполнение правил техники безопасности персоналом. В настоящее время имеются доступные технологии по удалению легковоспламеняющихся газов из матрицы пеноматериала (например, посредством перфорации), что гарантирует безопасную транспортировку, хранение и использование пенопластов. Следует учитывать, что углеводороды являются летучими органическими соединениями, выбросы которых регулируются нормативными актами в определенных регионах мира.

Производство полиолефиновых пенопластов экструзией весьма затруднительно при использовании в качестве пенообразователей ГФУ-152a и ГФУ-134a.

ГФУ-152a иногда используется в комбинации с углеводородами для обеспечения выполнения требований по ограничению выбросов летучих органических соединений.

Другие теоретические варианты

Углекислый газ, азот и другие неорганические газы имеют очень низкую растворимость в смолах и очень ограниченное использование в экструзионных полиолефиновых пенопластах. Кроме того, рабочие давления при использовании этих пенообразователей будут чрезмерно высокими и, как правило, превышающими расчетное допустимое давление существующего оборудования, что в случае применения этих альтернатив потребовало бы неоправданно высоких дополнительных капиталовложений.

Тем не менее, эти летучие газы используют в некоторых продуктах при формовании гранул в пресс-формах. В этих случаях проблемы высоких давлений могут быть решены. Углекислый газ быстро диффундирует из матрицы полиолефиновых пенопластов, что вызывает серьезные проблемы с потерей устойчивости к деформации. Углекислый газ не может серьезно рассматриваться в качестве жизнеспособной альтернативы, кроме случаев его применения в качестве компонента системы в небольших концентрациях до тех пор, пока не появятся соответствующие технологии, которые отсутствуют в настоящее время.

Таким образом, CO₂, азот и другие неорганические газы остаются на сегодняшний день лишь теоретическими вариантами для большей части применений полиолефиновых пенопластов.

12.6 Метилформиат

Насколько известно, метилформиат использовался только в очень ограниченной степени в развитых странах. Имеется некоторый опыт его применения в Австралии. Соответственно, отсутствует существенный опыт, который позволял бы осуществлять передачу этой технологии странам, действующим в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола. Технология проходит рабочую проверку посредством выполнения нескольких проектов, финансируемых Многосторонним фондом Монреальского протокола.

Метилформиат применялся в качестве пенообразователя в достаточной степени в ряде стран, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, а именно в Бразилии и ЮАР где он используется для производства рулевых колес, охлаждаемых витрин и сэндвич-панелей со стальной облицовкой. В каждом случае потребители требовали продукт с нулевым ОРП и низким ППП. В то же время те же самые производители часто используют системы на основе ГХФУ для тех потребителей, которые не выставляют особых требований в отношении сохранения озонового слоя или климата.

Опыт Бразилии показывает, что рабочие характеристики метилформиата при производстве рулевых колес (интегральный пенополиуретан) подобны тем, которые наблюдались при использовании ГХФУ-141b. Однако в случае метилформиата наблюдается уменьшение вязкости рецептуры. Это может дать преимущества в текучести, формировании ячеек и распределении плотности, но может потребовать в некоторых случаях модернизации оборудования. Еще одно преимущество метилформиата – это возможность использовать более вязкие полиолы. В охлаждаемых витринах было обнаружено заметное ухудшение теплоизоляционных свойств пенопласта. Однако те потребители, которые проводят измерение потребления энергии холодильным оборудованием, заявляют, что они не обнаружили никаких изменений в энергопотреблении. Нет сведений о каких-либо изменениях в теплоизоляционных свойствах сэндвич-панелей со стальной облицовкой, где диффузия пенообразователя обычно весьма затруднена.

Хотя мнения о воздействии метилформиата на плотность пеноматериала не однозначны, его увеличенная растворимость может привести к потере сопротивляемости деформации. Для решения этой проблемы можно использовать рецептуры с более высоким индексом или же увеличить плотность полиола. Например, в случае с пеноизоляцией в охлаждаемых витринах потребовалось увеличить ее плотность на 5% для сохранения устойчивости к деформации. С другой стороны, метилформиат сравнительно дешев. В некоторых регионах его стоимость ниже ГХФУ-141b. К тому же метилформиат – эффективный вспениватель, требующий меньшего расхода для получения пенопласта эквивалентной плотности.

12.7 Обзор технологии получения пенопластов с различными пенообразователями

ГФУ

ГФУ применяются в следующих областях:

- Изоляция в предметах домашнего обихода – в холодильниках и морозильниках (главным образом в Северной Америке);
- Изоляция напылением (в мировом масштабе для случаев, когда применение ГХФУ запрещено);
- Панели со стальной облицовкой (там, где требуется соблюдение правил пожаробезопасности);
- Полиуретановые изоляционные плиты (в областях, где требуется строгое соблюдение правил пожаробезопасности);
- Различные применения на малых и средних предприятиях (где имеются финансовые ограничения).

Следует особо отметить быстрый рост применения пенополиуретановой изоляции напылением в Китае для ремонта зданий с целью повышения их энергоэффективности, что вызвано принятием политических решений в области противодействия климатическим изменениям.

В 2007 г. потребление пенополиуретановой изоляции напылением в Китае достигло 60.000 тонн. По оценке одного источника еще более важен ежегодный совокупный прирост потребления в 117%. Основываясь на типичных рецептурах ежегодное потребление ГХФУ-141b можно оценить в 6.000–8.000 тонн. Этот рынок уже сопоставим по размерам с наибольшими рынками пенополиуретановой изоляции напылением в мире (например, в США, Испании, Японии). В условиях отсутствия широко доступных альтернативных пенообразователей с низким ПГП для ГХФУ-141b, пенообразователи на основе ГФУ могли бы успешно занять эту нишу на рынке, особенно, если замена ГХФУ-141b была бы ускорена в соответствии с решением XIX/6 о приоритетном прекращении потребления ГХФУ с более высоким ОРП. В таком случае необходимо будет оценить преимущества энергоэффективности изоляции с ГФУ пенообразователями в сравнении с прямыми выбросами ГФУ в результате их использования.

Финансовые последствия

Для того чтобы оптимизировать рентабельность систем на основе ГФУ, рецептуры пеноизоляции, содержащие ГФУ, были переработаны с включением вторичных пенообразователей с более высокой концентрацией по сравнению с традиционно используемыми рецептурами на основе

ГХФУ. Содержание ГФУ, используемых в каждой рецептуре, было выбрано таким, чтобы пеноматериал обеспечивал необходимые свойства при самой низкой стоимости.

Самым распространенным вторичным пенообразователем является CO_2 (вода), хотя используются другие вещества, включая углеводороды, CO_2 (жидкий диоксид углерода), CO_2 (газообразный диоксид углерода), метилформат, транс-1,2-дихлорэтилен, спирты и другие. Для того, чтобы минимизировать стоимость системы, используется вторичный пенообразователь с содержанием до 70% в молярных долях. При этом наблюдаются соответствующие потери в эффективности пеноизоляции по сравнению с материалом, полученным с более высоким содержанием ГФУ. Такой подход позволяет получать пеноматериал с различными комбинациями стоимость – эффективность, что позволяет производителям с большей гибкостью удовлетворять потребности конечных потребителей.

Сопоставление энергоэффективности с парниковым воздействием выбросов

Во многих применениях ГФУ выбирается в качестве пенообразователя, чтобы обеспечить наивысшую энергоэффективность пеноизоляции. Это может быть особенно важно в тех областях применения, где ограниченное пространство не позволяет увеличить толщину изоляции. Такие применения включают: производство домашних холодильников и морозильников, напыляемую изоляцию для наружной оболочки существующих зданий, строительные панели и изоляцию термоконтейнеров. Во многих случаях требования энергоэффективности диктуются законодательными актами, строительными нормами и правилами или добровольными программами, такими как энергетическая программа Агентства по охране окружающей среды США (Energy Star), программа «Лидерства в области энергии и экодизайна» (Leadership in Energy and Environmental Design – LEED), программа Аттестации зданий методом экологической экспертизы (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) и Всесторонняя система оценки строительства с точки зрения экологической эффективности (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency).

Было выполнено несколько исследований по этим применениям, которые демонстрируют, что воздействие на климат в течение жизненного цикла (ВКЖЦ), связанное с использованием ГФУ, во многих случаях достаточно благоприятно и в ряде других случаев нейтрально в сравнении с альтернативами с низкими ПГП, даже если допустить, что весь пенообразователь, содержащийся в пеноматериале, в течение жизненного цикла поступит в атмосферу. Ситуация может быть улучшена, если будут приняты меры для минимизации выбросов, особенно в конце срока службы пеноизоляции.

Углеводороды для малых потребителей

В отсутствие финансовой помощи малые и средние предприятия (МСП) в странах, не действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола, были не способны в заметной степени внедрить технологии на основе углеводородов. Большинство из них внедрили технологии на основе ГФУ, несмотря на более высокие затраты. Там, где требования к изоляции были менее строги, наблюдалось большее использование пенообразователя на основе CO_2 (вода). Такой ход событий показывает, что опыт, полученный в развитых странах, который можно было бы перенять, не достаточно велик. Особенно важен опыт производителей и поставщиков систем («системных домов»), которые разработали рецептуры для малых и средних предприятий.

Этот опыт, как ожидают, будет востребован в странах, действующих в рамках 5-й Статьи Монреальского протокола.

Исторически затраты на внедрение технологии на основе углеводородов оцениваются в размере не менее 400.000 долл. США на каждое предприятие. Эти затраты включают приобретение дозировочно-заливной машины высокого давления во взрывобезопасном исполнении с предварительным смесителем и другими вспомогательными устройствами, а также соответствующее оснащение рабочей зоны для работы с пожаровзрывоопасными материалами. При возможной модернизации существующей заливочной машины высокого давления расходы могут быть уменьшены приблизительно до 300.000 долл. США, хотя такая сумма тоже считается крупной инвестицией для МСП. Кроме того, многие МСП не имели бы возможности освоить такую технологию с технической точки зрения и по причинам безопасности. Варианты, позволяющие снизить эти затраты, не рассматривались в прошлом, потому что альтернативы на основе ГХФУ оказались рентабельными и готовыми к использованию. В контексте сокращения потребления ГХФУ очевидны потребности в инициативах снизить затраты на внедрение технологии с углеводородами, если считать что эта технология должна быть освоена МСП. Могут быть рассмотрены следующие пути снижения затрат для некоторых случаев:

- Прямое введение углеводородов при вспенивании;
- Предварительное введение углеводородов в систему поставщиком рецептуры;
- Альтернативное, упрощенное и более дешевое оборудование для ограниченных применений.

Таких вариантов могло бы быть больше, но так как ни один из них не был применен в контексте стран 5-й Статьи Монреальского протокола, все они нуждаются в проверке.

Финансовые последствия

Можно допустить, что исключение из технологической цепочки отдельных предварительных смесителей позволило бы сэкономить приблизительно 60.000 долл. США за единицу оборудования (включая взрывоопасное исполнение), хотя какой-либо опыт в этом отношении отсутствует применительно к странам 5-й Статьи Монреальского протокола. Другие упрощения, возможно, могут снизить общую стоимость на 100.000 долл. США. Это подразумевает, что потенциально доступные технологии с использованием углеводородов по всей вероятности никогда не станут экономически приемлемыми для очень небольших потребителей (то есть с потреблением менее 10 тонн в год).

Ключевые сведения

Технология с углеводородами широко используется в производстве домашних холодильников и морозильников и в меньшей степени в других применениях изоляции, но в мировом масштабе существует лишь ограниченный опыт использования углеводородных пенообразователей малыми и средними предприятиями, в связи с чем необходимы дальнейшие исследования по применениям этой технологии.

Углеводородные пенообразователи не могут применяться в секторе напыляемой пенополиуретановой изоляции.

Пенообразователи на основе ГФУ доступны (или будут доступны) во время переходного периода, хотя потребуются дополнительные усилия для оптимизации стоимости рецептуры для

более широкого внедрения этих пенообразователей в производство полиуретановых и полистирольных экструзионных изоляционных плит.

Некоторые новые технологии (например, метилформиат) демонстрируют новые возможности, особенно в секторе интегральных пенопластов, хотя все еще отсутствует достаточный опыт в применении этих новых технологий в развитых странах. Необходимо выполнить ряд демонстрационных проектов с участием поставщиков и конечных потребителей с привлечением других заинтересованных участников для большего понимания этих технологий.

Существует технология, которая позволяет уменьшить объем используемых ГХФУ пенообразователей приблизительно до 30% от обычных текущих объемов, используя CO_2 при производстве экструзионных полистирольных плит.

Единственная технология, потенциально способная полностью заменить ГХФУ, основана на ГФУ, но на некоторых рынках ее считают предельно дорогой.

Работа в настоящее время сосредотачивается на смесях CO_2 /этанол и CO_2 /углеводороды, и, возможно, даже чистых технологиях углеводорода, если пенообразователь может быть удален из пеноматериала немедленно после изготовления.

В некоторых странах рассматривается перспективность проектов по контролю ОРВ, содержащихся в оборудовании и пеноматериалах, хотя извлечение пеноматериалов и их уничтожение будет технически трудно выполнимым (и поэтому дорогостоящим), особенно в отдаленных регионах.

Существует дополнительная причина для отказа от использования ГФУ в Европе, поскольку теперь модифицированные рецептуры, основанные на углеводородах, соответствуют стандартам пожаробезопасности для пеноматериалов.

Использование ГФУ-134а в пеноматериалах с одним компонентом сокращается в странах ЕС прежде всего с помощью изменения рецептуры путем добавления различных углеводородов. Однако там, где углеводороды не могут быть использованы из-за эксплуатационной безопасности и недостатков в рабочих характеристиках пенопласта, появляется возможность использовать пенообразователь (НВА-1) с низким ПГП, который был своевременно выпущен компанией Honeywell, что позволяет выполнять требования ЕС по регулированию F-газов.

Потребность в пеноизоляции продолжает быстро расти в ряде стран в ответ на ужесточение требований по энергоэффективности в строительстве. Доля пеноизоляции на рынке также растет по отношению к неаналоговым технологиям, таким как волокнистая изоляция, в силу большей теплоизоляционной эффективности пеноматериалов и их большей огнестойкости (большее использование полиизоциануратных технологий).

Напыление пенополиуретановой изоляции становится все более популярным при проведении работ по реконструкции зданий.

В Японии появились технологии напыления пеноизоляции с использованием CO_2 в сверхкритическом состоянии, но доля рынка этой технологии составляет не более 10%. Технология еще мало известна за пределами Японии. Закон, поощряющий экологические закупки, также содействует большему использованию пенообразователя CO_2 (вода), который особенно подходит для японского рынка, и применение этой технологии более предпочтительно, чем технологии с сверхкритическим CO_2 .

Стандарты «зеленого строительства» (Green building) продолжают оказывать препятствия в использовании пенообразователей с высоким ППП, хотя часто без надлежащей ссылки на сравнительные оценки ВКЖЦ. Однако там, где паритет в эффективности пеноизоляции может быть достигнут с использованием пенообразователя с более низким ППП, неопределенность относительно будущего сдерживания эмиссий пенообразователя во время жизненного цикла может быть устранена.

Справочная информация

Название справочного документа	Источник
Глобальный сравнительный анализ ГФУ и альтернативных технологий по охлаждению, воздушному кондиционированию, пенопластам, растворителям, аэрозольным пропеллентам, и средствам огнегашения. Ссылка 49648	Arthur D. Little Inc.
Корпорация BASF, Справочник по полиуретанам МДИ	Корпорация BASF
Сравнение эквивалентных выбросов CO ₂ при использовании экструзионной полистирольной пеноизоляции: применение обшивки ЭППС для внешних стен индивидуальных жилых домов в четырех городах США, Nadine Rauscher	Химическая Компания DOW
Оценка теплопроводности экструзионной полистирольной пеноизоляции, получаемой с пенообразователями ГФУ-134а или ГХФУ-142b, Chau V. Vo	Химическая Компания DOW Company, 1605 Joseph Drive-200 Larkin Center, Midland, MI 48674
DuPont DP-1 Глобальная оценка ВКЖЦ. Конференция Международного энергетического агентства, 23–24 октября 2006 г. Mary Koban, главный специалист технического отдела DuPont Фторпродукты	DuPont
Техническое совещание по ликвидации ГХФУ, 5–6 апреля 2008 г., Монреаль, Канада, протокол совещания	Европейская Комиссия/ICF Int
Пенообразователь Экомат® Статья John Murphy, Mark Schulte, Buck Green	Пеноматериалы Inc.
Изменения климата 2007 г.; Суммарный отчет; Оценка Межправительственной группы экспертов по изменению климата	МГЭИК
МГЭИК/ГТОЭО Специальный отчет: Охрана озонового слоя и система глобального климата	МГЭИК
Жесткие полиуретановые пенопласты и альтернативные пенообразователи, Kuung Won Suh и Andrew N. Paquet, Химическая Компания Dow, Midland, MI, США, ISBN: 0-471-49752-5	Современные стирольные полимеры: пенопласты и стирольные сополимеры
Техническая и экологическая приемлемость ГФУ как пенообразователей для ЭППС плит, Christer Bratt и Arnaud Albouy	Пенопласты Нордик, Швеция
Энергия и последствия глобального потепления применения неаналоговых альтернатив ГФУ и ГХФУ нового поколения, 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 эффективной ЭППС изоляции, Lothar Zipfel и Christoph Meurer	Solvay Исследования и технология, Solvay Фтор и производные Гмбх

Название документа ссылки	Источник
Отчет по охлаждению, воздушному кондиционированию и тепловым насосам, Комитет по техническим вариантам, оценка 2006 г., ISBN 978-92-807-2822-4	ЮНЕП/ ГТОЭО
Отчет группы экспертов по технологии и экономической оценке, май 2008 г., Том 1, Отчет о ходе работ	ЮНЕП/ ГТОЭО
Пересмотренный анализ аспектов стоимости при финансировании сокращения потребления ГХФУ (решение 53/37(i) и 54/40) – UNEP/OzLPro/ExCom/55/47	ЮНЕП
Подходы к сокращению потребления ГХФУ, Отдел стратегии по охране озонового слоя МЭТИ (Министерство экономики, торговли и промышленности) Исследовательский центр Sahi, Shinichiro	ЮНИДО, Семинар по альтернативам ГХФУ, Вена, 18–20 февраля 2008 г.
Оптимизация эффективности: ГФУ-245fa и смеси ГФУ-245fa для пеноизоляции: D. J. Williams, M. C. Bogdan и P. B. Logsdan, Allied Signal, Inc.	Земля: Форум технологий, Конференция по изменению климата и охране озона, 27–29 сентября 1999 г.
Агентство по охране окружающей среды; Офис по выполнению, Обзор резиновой и пластиковой промышленности, 2-я Редакция, Главы I, II, и III, февраль 2005 г.	EPA, США