



**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР
ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТИЛФОРМИАТА В КАЧЕСТВЕ
БЕЗОПАСНОГО ДЛЯ ОЗОНОВОГО СЛОЯ
АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА ЗЕМЛИ ВСПЕНИВАТЕЛЯ
ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

М О С К В А 2 0 1 5

Глобальный экологический фонд
Организация Объединенных Наций
по промышленному развитию
Международный центр научной и технической информации

Информационно-аналитический обзор
по применению метилформиата в качестве
безопасного для озонового слоя атмосферы
и климата Земли вспенивателя
пенополиуретановой изоляции

Проект ЮНИДО/ГЭФ-Минприроды России «Поэтапное сокращение потребления гидрохлорфторуглеродов и стимулирование перехода на не содержащее гидрофторуглероды энергоэффективное холодильное и климатическое оборудование в Российской Федерации посредством передачи технологий»

Москва 2015 г.

ВВЕДЕНИЕ

Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, с начала 2015 г. серьезно ограничил потребление озоноразрушающих веществ (ОРВ) в Российской Федерации — на уровне 10% от базового уровня. Но среди озонопасных гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) есть вещества, полный вывод из обращения которых должен произойти намного раньше 2020 года. Таким веществом, в частности, является ГХФУ-141b. Этот фреон является основным вспенивающим агентом в производстве изделий из пенополиуретана (ППУ) и эффективным растворителем в технологиях очистки и обезжиривания.

ГХФУ-141b в России не производится, а квоты на его импорт начиная с 2016 г. потенциально могут быть «обнулены». Имеющихся складских запасов, по различным оценкам, хватит не более чем на год. В сложившейся ситуации необходимо найти приемлемую альтернативу этому вспенивателю, не требующую от потребителей больших инвестиций в переоснащение производства. Следует отметить, что в настоящее время производителями изделий с использованием ППУ уже широко применяются безопасные для озонового слоя атмосферы вспениватели: углеводороды (циклопентан и н-пентан), гидрофторуглероды (ГФУ-134a, ГФУ-227ea, ГФУ-365mfc), вода и диоксид углерода, а также ряд других.



Циклопентан является самым популярным на сегодняшний день в развитых странах решением, однако обращение с легковоспламеняющимися и летучими углеводородами — достаточно сложный и опасный процесс, требующий серьезного переоборудования имеющихся производственных мощностей и, соответственно, серьезных инвестиций.

Использование ГФУ является апробированным решением для практически всех сфер применения ППУ, но, как известно, они обладают значительным потенциалом глобального потепления (ПГП), в связи с чем высока вероятность принятия на международном уровне ограничений для их производства и потребления уже в среднесрочной перспективе. Следует также отметить довольно высокий уровень цен на эти вспениватели, что сказывается на экономической эффективности производства изделий из ППУ.

Таким образом, производители компонентов и готовых изделий из ППУ оказались в сложной ситуации: традиционный вспениватель вот-вот закончится, а в текущей экономической ситуации серьезные инвестиции в технологическое перевооружение могут себе позволить далеко не все участники отраслевого рынка. Попытка удовлетворения возникшей потребности в доступных, недорогих, безопасных и в то же время эффективных альтернативах ГХФУ-141b была предпринята в рамках Проекта ЮНИДО/ГЭФ-Минприроды России по выводу из обращения ОРВ. Рабочей группой Проекта были проанализированы решения, применяемые в мире, и сформулированы предложения для российских предприятий, обладающих разными финансовыми возможностями.

Метилформиат и вспениватель Ecomate, разработанный на его основе, являются в принципе токсичными веществами, не запрещенными в бытовом применении. Ecomate в США имеет классификацию GRAS (в целом признан безопасным) и одобрен для использования в домашнем обиходе (зарегистрирован в регистре REACH под номером EINECS No 203–481–7). Метилформиат в чистом виде — теоретически легковоспламеняющееся вещество, не обладает повышенной летучестью и имеет довольно ограниченные концентрационные пределы воспламенения (5,5–21,8% об.). Это вещество достаточно давно и успешно применяется в качестве вспенивающего агента в США, Великобритании, Ирландии, Австралии, Италии, Индии, Южной Корее, Бразилии и Южно-Африканской Республике. Практика его применения в этих странах показала, что переход с ГХФУ-141b на метилформиат не требует больших инвестиций в производственную инфраструктуру и системы безопасности. Озоноразрушающая способность (ОРС) метилформиата = 0, а потенциал глобального потепления (ПГП) = 11. В Российской Федерации это вещество не производится и до недавнего времени опыт работы с ним у отечественных производителей ППУ-компонентов (т.н. «системных домов») отсутствовал.

В рамках Проекта ЮНИДО/ГЭФ-Минприроды России на производственной базе ООО «Научно-внедренческое предприятие «Владипур» (ООО «НВП «Владипур») с привлечением к разработке ППУ-систем бразильской компании Purcom Quimica Ltd. такой опыт был приобретен, а технология изготовления компонентов и изделий из ППУ была адаптирована к российским условиям и внедрена в производство.

Таблица 1: Основные альтернативы ГХФУ-141b

Вспениватель	Плюсы	Минусы
ГФУ-134a	Малозатратный переход	Высокий ППП, высокая стоимость
ГФУ-365mfc	Малозатратный переход	Высокий ППП, высокая стоимость
Углеводороды (циклопента, н-пентан и др.)	Низкие эксплуатационные расходы, хорошие термоизоляционные и механические характеристики конечного продукта	Взрывоопасен, большие капиталовложения и затраты на обеспечение безопасности
Метилформиат	Малозатратный переход, себестоимость систем компонентов сопоставима со стоимостью систем на базе ГХФУ-141b	Неприятный запах, горюч, коррозионно-активен

Таблица 2: Экологические характеристики вспенивателей

Вспениватель	ОРС	ППП	ЛОС	Срок жизни в атмосфере, годы	Мол. вес	Экв. CO ₂
«Экомейт»	0	≈1	Не содержит	0,02	60	1
ГХФУ-141b	0,12	725	Не содержит	9,3	117	1414
ГФУ-134a	0	1320	Не содержит	14	102	2244
ГФУ-365mfc	0	782	Не содержит	8,6	148	1929
Циклопентан	0	11	Содержит	0,008	72	13

Более подробная информация о физико-химических и экологических характеристиках вспенивателей приведена в приложении.

ООО «НВП «Владипур» является одним из немногих полностью российских предприятий, производящим компоненты для получения ППУ и, кроме того, готовых изделий из ППУ, таких, как предизолированные трубы и фасонные изделия для различных нужд, ППУ-скорлупы и отводы для изоляции трубопроводов, а также эластичный блочный поролон различных марок. За 25-летнюю историю компания накопила огромный опыт и в настоящее время располагает двумя производственными площадками, испытательными и технологическими лабораториями, а также штатом опытных специалистов, обеспечивающих бесперебойный выпуск высококачественной продукции. В то же время, в отличие от «системных домов», за которыми стоят крупнейшие западные производители полиуретанового сырья, ООО «НВП «Владипур», как и большинство российских предприятий отрасли, не располагает значительными ресурсами для масштабной модернизации производственной базы, которая была бы необходима для конверсии, к примеру, на циклопентан. Отсутствуют у ООО «НВП «Владипур» и запасы ГХФУ-141b, которые могли бы обеспечить бесперебойную работу предприятия в течение переходного периода. Таким образом, задача внедрения нового альтернативного вспенивателя для этого и других мелких и средних российских предприятий является особенно актуальной, а ее решение было найдено в кратчайшие сроки.

Специалисты Рабочей группы ЮНИДО, а также представители Purcom Química Ltd., осознавая важность стоящий перед ними проблемы, начали работу над пилотным проектом для ООО «НВП «Владипур» еще в конце 2013 г. и сейчас, спустя почти два года, можно говорить о достигнутом результате — технологии применения метилформиата в качестве приемлемой альтернативы ГХФУ-141b апробированы и внедрены в опытное производство.

МЕТИЛФОРМИАТ

Метилформиат — метиловый эфир муравьиной кислоты HCOOCH_3 представляет собой горючую бесцветную летучую жидкость, пары которой тяжелее воздуха и могут скапливаться в нижней части помещения, образуя взрывоопасные смеси с воздухом. Температура вспышки — $22\text{ }^\circ\text{C}$, концентрационные пределы воспламенения — 5,5–21,8% об. При смешении с воздухом пары метилформиата могут образовывать взрывоопасные смеси при комнатной температуре. Тем не менее, он обладает меньшими по сравнению с циклопентаном горючестью и взрывоопасностью. Концентрация метилформиата в сырье такова, что опасность он представляет лишь в чистом виде, а не тогда, когда становится частью компонента А (полиола). Метилформиат не разлагается под действием воздуха, легко вступает в реакцию с окислителями.



Проведение теста технической пробы. Определение времени гелеобразования

Сферы применения метилформиата:

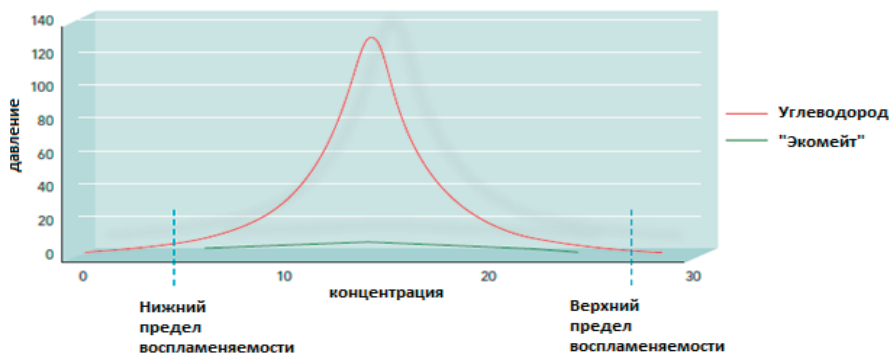
- Жесткие пеноматериалы;
- Напыляемые пеноматериалы;
- Интегральные пеноматериалы;
- Эластичные пеноматериалы;
- Реакционно-инжекционное формование;
- Заливка ППУ на месте применения;
- Бытовая холодильная техника;
- Автомобилестроение;
- Листовой ППУ и ППУ-плиты, изготовленные непрерывным способом;
- Холодильный транспорт;
- Сэндвич-панели и панели, изготовленные непрерывным способом;
- Плавсредства.

Метилформиат имеет класс опасности 3 и требует при работе с ним соблюдения определенных мер предосторожности, предусмотренных пра-

вилами обращения с легковоспламеняющимися веществами (создание инертной азотной среды в смесительных реакторах, использование электрооборудования в пожаровзрывобезопасном исполнении и т.д.). Предельно допустимая концентрация (ПДК) — 100 мг/м^3 , $\text{ПДК}_{\text{ж.з.}} = 0,2 \text{ мг/м}^3$.

Таблица 3: Горючесть метилформиата

Нижний предел воспламеняемости (% об.)	5,0
Верхний предел воспламеняемости (% об.)	23,0
Точка вспышки (закрытый тигель)	-32,5 °С
Температура самовоспламенения	449 °С
Теплота горения (кДж/г)	-16,2
Минимальная энергия воспламенения (мДж)	0,5



Применение систем на базе метилформиата, имеющего повышенную коррозионную активность, на оборудовании, предназначенном для производства ППУ изделий с использованием ГХФУ 141b, теоретически может повлечь преждевременный износ его отдельных узлов (смесительная головка высокого давления, трубопроводы для подачи компонентов, дозирующие насосы). В практическом плане рекламаций по данному вопросу за более чем 15-летний период работы с метилформиатом производителями систем зарегистрировано не было. Как правило, концентрация метилформиата в компонентах систем не превышает 3–5%. Рекомендации по изготовлению вышеуказанных узлов из коррозионностойких материалов требуют проведения испытаний и объективного анализа практики применения метилформиата в других странах. В настоящее время метилформи-

ат производится двумя производителями: Foam Suppliers (торговая марка Ecomate) и BASF (торговая марка Methylformiat technisch). В оба продукта наряду с действующим веществом (не менее 97%) входит метанол (не более 3%), который в такой концентрации не представляет опасности (если он не попадает непосредственно в организм человека через органы пищеварения), и вода — не более 0,05%. Однако следует учитывать, что метанол является токсичным веществом кумулятивного действия и также требует соблюдения определенных мер предосторожности.

Марки прокладок и сальников, совместимых для работы с метилформиатом и систем на его основе:

- с чистым «Экомейт» — ПТФЭ, калрез, этилен-пропилен-диеновый каучук.
- с полиольными системами, содержащими 5% «Экомейта» — ПТФЭ, калрез, этилен-пропилен-диеновый каучук, бутил, вайтон, неопрен, силикон, бутадиентакрилонитрильный каучук и сантопрен.

В силу разнообразия систем компонентов ППУ совместимость с другими материалами рекомендуется проверять.

Метилформиат обладает адгезией к поверхностям следующих материалов: ударопрочный полистирол, акрилонитрил-бутадиен-стирол, полипропилен, полиэтилен, полиметилметакрилат, поливинилхлорид, поликарбонат и другие термопласты.

Обращение с метилформиатом и его хранение:

- Метилформиат хранят как в бочках, так и в больших контейнерах;
- Бочки и контейнеры с метилформиатом размещают в сухом, прохладном, хорошо вентилируемом помещении вдали от источников тепла, искр, пламени или других источников воспламенения;
- При открытии тары соблюдают осторожность, выпуская газ под избыточным давлением;
- При погрузочно-разгрузочных работах и перевозке применяют соответствующий порядок фиксации и опускания на горизонтальную поверхность и используют инструменты исключающие образование искры;
- Для герметизации контейнеров используют только сухой азот;
- Не следует подвергать состав действию смесей с большим содержанием щелочи или щелочных металлов.

Технология производства ППУ-систем компании Purcom Quimica Ltd. на основе сырья и базовых компонентов, доступных в Бразилии, давно от-

работана производителем, однако ее прямой перенос в Российскую Федерацию невозможен из-за специфики сложившихся требований к ППУ-изделиям и условий их эксплуатации в Российской Федерации. В результате выполнения научно-исследовательских работ в лаборатории ООО «НВП «Владипур» при участии представителя компании Purcom Quimica Ltd. системы на основе метилформиата были доработаны и адаптированы к требованиям российской НТД с учетом имеющегося на российском рынке полиуретанового сырья (полиолы, изоцианаты, катализаторы, силиконы и т.д.).



Оборудование для проведения исследований и тестирования. Прибор для определения коэффициента теплопроводности ППУ

Перечень необходимого оборудования для участка производства компонента А

- два смесительных реактора;
- резервуар гомогенизации (накопитель) готового продукта;
- два диспенсера;
- генератор азота с ресивером и воздушным компрессором;
- промышленный чиллер;
- шкаф для нагрева сырья;
- холодильный шкаф;
- трубопроводы и арматура;
- устройства управления технологическим процессом;
- приборы защиты;
- электрооборудование комплекса (электроприводы смесительных реакторов и насосов, коробки блоков питания, панели управления и линии соединительных кабелей).

Вышеперечисленное оборудование было поставлено на ООО «НВП «Владипур» в рамках Проекта ЮНИДО/ГЭФ—Минприроды России по выводу из обращения ОРВ.

Участки ООО «НВП «Владипур» по производству готовых изделий из ППУ (предизолированных труб, теплоизоляционных плит, скорлуп и отводов) оснащены заливочными машинами производства компании Cannon в обычном (не стойким к коррозии) исполнении, однако вносить в них существенные конструктивные изменения не потребовалось.

ПРОИЗВОДСТВО КОМПОНЕНТОВ

ООО «НВП «Владипур» в рамках подготовки к конверсии на использование метилформиата пришлось учитывать, что:

- в соответствии с нормами пожарной безопасности, установленными в Российской Федерации для работы с легковоспламеняющимися жидкостями, предусмотрено создание в смесительных реакторах, дозирующих системах и накопительных емкостях, а также трубопроводах для подачи метилформиата инертной азотной среды;
- оснащение рабочих участков датчиками контроля за состоянием воздушной среды и системой оповещения о концентрации метилформиата в воздухе;
- наличие на рабочих местах приточно-вытяжной вентиляции с кратностью воздухообмена 8–9;
- наличие у смесительных реакторов герметичных корпусов и систем охлаждения;
- с целью предотвращения коррозионного износа отдельные компоненты базового оборудования, находящиеся в контакте с метилформиатом, выполнены из нержавеющей стали;
- для перехода на альтернативный ГХФУ-141b метилформиат требуется изменение технологии и ряда технологических параметров:
- в процессе производства компонента А требуется подогрев полиэфирного сырья, для чего должен быть предусмотрен отдельный термошкаф;
- из-за низкой температуры кипения метилформиата (31,5 °С) перед его подачей в смесительный реактор полиэфирная смесь подлежит охлаждению с помощью промышленного chillера для подготовки воды с температурой 10–15 °С;
- для безопасного обращения с метилформиатом и снижения его летучести бочки с ним должны быть охлаждены до 10 °С в промышленном холодильнике.



Изготовление скорлуп для теплоизоляции труб. Промежуточное хранение на стеллажах на площадке

Проведение вышеуказанных работ по модернизации технологии производства ППУ-систем позволило в кратчайшие сроки получить опытные партии компонента А на базе метилформиата и сделать важные выводы. Свойства компонентов А и Б были исследованы лабораторией ООО «НВП «Владипур» с помощью:

- метода определения гидроксильного числа компонента А по ГОСТ 25261–82;
- метода определения кислотного числа компонента А по ГОСТ 25210–82;
- метода определения содержания воды в компоненте А по ГОСТ 1870–77;
- метода определения вязкости компонентов А и Б по ГОСТ 25276–82 на ротационном вискозиметре;
- метода определения массовой доли изоцианатных групп в компоненте Б по ТУ 113–03–413–89.

Результаты исследований компонентов для производства одного из видов продукции (скорлупы) приведены в табл. 4. Было установлено, что разработанные рецептуры позволяют обеспечить срок хранения компонента А до 6 мес. без значительного изменения свойств компонента, что сопоставимо со сроком хранения систем компонентов

на базе ГХФУ-141b и не требует изменения технологии производства потребителями ППУ. Кроме того, специалисты ООО «НВП «Владипур» отметили, что технологические параметры работы с компонентом А с метилформиатом не требуют внесения значительных изменений в регламент работы по сравнению с параметрами работы с компонентом А с ГХФУ-141b.

Таблица 4: Характеристика технологических параметров компонента А POLIPUR ECO LRI 104.016 при хранении (производство скорлуп)

Характеристики / срок хранения	0 дней	45 дней	105 дней	185 дней	230 дней	290 дней	350 дней
Время старта, с	14	13	12	11	13	12	13
Время телеобразования, с	69	69	68	63	72	67	68
Время отверждения до отлипа, с	115	120	112	95	115	113	115
Кажущаяся плотность при свободном вспенивании, кг/м ³	47,5	48,1	45,8	45,1	47,8	48,7	46,2
Кажущаяся плотность при свободном вспенивании, кг/м ³	41,7	41,7	40,0	40,0	41,2	43,2	39,9

ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ ППУ

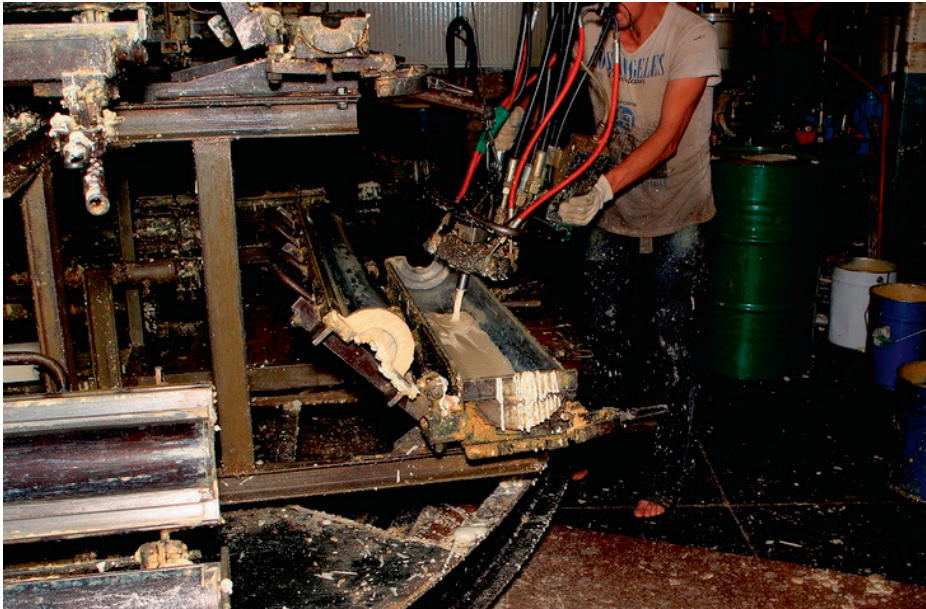
Ожидалось, что в процессе производства изделий из ППУ с использованием новых рецептов на основе метилформитата возникнут дополнительные проблемы, связанные с необходимостью их соответствия требованиям государственных стандартов и ТУ.

Как упоминалось выше, ООО «НВП «Владипур» производит несколько видов изделий из ППУ (предизолированные трубы, теплоизоляционные плиты, а также ППУ-скорлупы и отводы). В качестве примера конверсии на озонобезопасные технологии рассмотрим особенности работы с метилформиатом для изготовления одного из них — ППУ-скорлуп для изоляции трубопроводов диаметром 27–820 мм.

Таблица 5: Сравнение свойств опытной партии ППУ-скорлуп, изготовленных с использованием компонента А POLIPUR ECO LRI 104.016

Характеристики	Требования ГОСТ 30732–2006, ГОСТ 17177–94, ТУ 5768–116–02495282–01, ТУ 5768–012–04925505–200	Пилотная продукция на базе POLIPUR ECO LRI 104.016
Плотность сердцевины (без пограничных областей), кг/м ³	не менее 50	51,2
Разрушающее напряжение при 10% сжатии, кПа	не менее 200	209,9
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	не более 0,030	0,027
Температура размягчения по Вика (факультативно), не менее: при нагрузке 10 Н, °С при нагрузке 50 Н, °С	180 120	156,0 112,0
Водопоглощение (кипячение в течение 90 мин),% по объему	не более 10	11,0

Скорлупы из жесткого ППУ получают методом формования с использованием заливочной машины высокого давления, предназначенной для работы с двухкомпонентными системами. Смена вспенивающего агента не влечет за собой существенных изменений в технологическом процессе — требуется лишь некоторая корректировка параметров работы заливочной машины. Учитывая, что физико-механические свойства таких ППУ-скорлуп должны соответствовать российским нормам, требования которых отличаются от требований, предъявляемых к аналогичным изделиям в других странах, в процессе передачи технологии требовалось обеспечить соответствие свойств изготавливаемых ППУ-скорлуп требованиям именно российских ГОСТ и ТУ производителя, а исследование этих свойств было возложено на лабораторию ООО «НВП «Владипур».



Изготовление скорлуп для теплоизоляции труб. Заливка ППУ системы в форму на карусельной платформе

Испытания пилотной партии скорлуп на базе компонента POLIPUR ECO LRI 104.016 показали, что свойства ППУ не в полной мере соответствуют требованиям ТУ по показателям водопоглощения и температуры размягчения по Вика, соответствие же требованиям ТУ по остальным параметрам было обеспечено уже в опытной партии.

В рамках Проекта ЮНИДО/ГЭФ-Минприроды России на базе ООО «НВП «Владипур» были проведены следующие работы:

- Разработаны рецептуры трех наиболее востребованных ППУ-систем;
- Проанализированы свойства и характеристики готовых ППУ-систем с метилформиатом;
- Готовые системы адаптированы к полиуретановому сырью, имеющемуся в России;
- Разработаны и реализованы проектные решения по модернизации производственного участка и оборудования для приготовления компонентов А с метилформиатом;
- Отработан технологический процесс производства компонентов А с метилформиатом;
- Разработаны рекомендации по внедрению технологий приготовления компонентов А с метилформиатом;

- Разработаны технические требования и осуществлена конкретная реализация проектного решения по модернизации производственного участка и оборудования для применения технологии производств готовых ППУ-изделий с использованием компонентов с метилформиатом;
- Выпущены пилотные партии готовых ППУ-изделий (скорлуп для изоляции трубопроводов, предизолированных труб и теплоизоляционных плит);
- Разработаны рекомендации по внедрению технологии производства готовых ППУ-изделий с метилформиатом в качестве вспенивающего агента.

По итогам осуществления вышеуказанных работ были сделаны следующие выводы:

- Физико-механические свойства готовых изделий, изготовленных на базе ППУ-систем с метилформиатом, в целом отвечают российским требованиям к изделиям, изготавливаемым на базе систем с ГХФУ-141b;
- Переход на применение в качестве вспенивателя ППУ-изоляции метилформиата не требует значительных дополнительных инвестиций в инфраструктуру производства и внесения существенных изменений в оборудование, используемое в настоящее время при работе с ГХФУ-141b;
- Оборудование, используемое в настоящее время при работе с ГХФУ-141b, может быть применено для рецептур на основе метилформиата в течение переходного периода;
- Стоимость готовых изделий на базе ППУ-систем с метилформиатом сопоставима со стоимостью изделий на базе ППУ-систем с ГХФУ-141b;
- Замена вспенивающего агента на метилформиат устраняет необходимость изменения технологии в случае ужесточения экологических требований действующих или будущих нормативных документов.

Российским производителям и потребителям ППУ-систем на основе метилформиата в ближайшее время предстоит сделать:

- привести в полное соответствие характеристики готовых изделий по температуре размягчения по Вика и водопоглощению требованиям ТУ производителя в ходе внедрения технологии в полномасштабное промышленное производство;
- провести комплекс дополнительных исследований, на основании которых сформулировать рекомендации по использованию оборудования в коррозионностойком исполнении.
Рекомендации по компенсации недостатков, присущих метилформиату:
- Применение электрооборудования в пожаро- и взрывобезопасном исполнении в соответствии с нормами пожарной безопасности;

- Создание в смесительных реакторах, дозирующих системах и накопительных емкостях пожаробезопасной инертной азотной среды;
- Подача метилформиата из дозирующей системы в реактор в азотной среде;
- Оснащение рабочих участков датчиками контроля за состоянием воздушной среды, системой оповещения о концентрации метилформиата в воздухе;
- Оборудование рабочих мест приточно-вытяжной вентиляцией с кратностью воздухообмена 8–9;
- Герметизация смесительного реактора и его оснащение охлаждаемым конденсатором (для уменьшения испарения метилформиата);
- Изготовление из нержавеющей стали или иных коррозионностойких материалов базового оборудования и трубопроводов, находящихся в контакте с метилформиатом;
- Охлаждением бочек с метилформиатом до 10 °С для безопасного обращения с метилформиатом и снижения его летучести.

Физико-химические, экологические и потребительские свойства вспенивателей ППУ-изоляции

Классификация вещества	Наименование, торговая марка вспенивающего агента	Химическое название, формула	Молекулярная масса	Температура кипения, °С	Плотность жидкости при 20°С, кг/м ³	Озоноразрушающая способность (ОРС)
ХФУ	ХФУ-11, хладон-11, фреон-11	Трихлорфторметан, CFCl_3	137	24	1,49	1,0
ГХФУ	ГХФУ-141b, хладон-141b, фреон-141b	Фтордихлорэтан, CH_3CFCl_2	117	32	1,29	0,11
ГФУ	ГФУ-365mfc, Солкан-365 mfc	Пентафторбутан, $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_2\text{CH}_3$	148	40	1,27	0
ГФУ	ГФУ-227ea, Солкан-227ea	Гептафтор-пропан, $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	170	-	1,29	0
ГФУ	Смесь Солкан-365mfc/227ea	Соотношение: 93/7	151	30	1,28	-
ГФУ	ГФУ-134a	Тетрафторэтан, CF_3CFH_2	102	-26	-	0
ГФУ	ГФУ-245fa	Пентафторпропан, $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CHF}_3$	134	15	-	0
УВ	Н-пентан	Н-пентан, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	72	36	0,63	0
УВ	Изопентан	Изопентан, $\text{CH}_3\text{-CH(CH}_3\text{)-CH}_2\text{-CH}_3$	72	28	0,62	0
УВ	Смесь пентан/изопентан	Соотношение: 80/20	72	32	0,62	0
УВ	Циклопентан	Циклопентан, $(\text{CH}_2)_5$	72	49	0,75	0
УВ	Смесь циклопентан/изопентан	Соотношение: 70/30	72	(-42)	0,70	0
Ацеталь	Метилаль	Диметоксиметан, $\text{CH}_2(\text{O-CH}_3)_2$	76	42,3	0,86	0
Метилформиат	Метилформиат	Метилвый эфир муравьиной кислоты, $\text{CH}_3\text{O-CO-CH}_3$	60	31,5	0,974	0
ГФО	ГФО-1234ze(E), HFO-1234ze(E), Solstice GBA	1,3,3,3-тетрафторпропен, $\text{CF}_3\text{-CF=CH}_2$	114	-19	1,12	0
ГХФО	ГХФО-1233zd(E), HCFO-1233zd(E), Solstice LBA	1-хлор-3,3,3-трифторпропен	130	19		0

Потенциал глобального потепления (ППП)	Тепло-проводность газовой фазы, Вт/мК	Класс опасности	Цена, долл. США	Возможность применения («+» и «-»)
4600	7,4	3	-	В настоящее время не используется
725	8,8	4	6–7	Выходит из обращения
794	12,5	4	6–7	Используются как переходные вещества (временная альтернатива).
3140	-	4	-	«+»: низкие суммарные капитальные затраты; хорошие теплоизоляционные и физико-механические характеристики ППУ.
-	-	4	6–7	«-»: высокие эксплуатационные затраты из-за высокой стоимости самих веществ или содержащих их компонентов.
1430	12,4	4	6–7	
1030	14,0	4	8–10	
0	13,4	4	2–3	Наиболее применяемая и отработанная технология в секторе холодильного оборудования и изоляции труб.
0	13,1	4	2–3	«+»: хорошие теплоизоляционные и физико-механические характеристики ППУ-изоляции;
0	13,2	4	2–3	низкие эксплуатационные затраты.
11	11,5	4	2,7–3,5	«-»: высокие суммарные капитальные затраты, которые оказываются неприемлемыми для малых и средних предприятий.
-	-	4	-	
-	-	4	-	Альтернативный вспенивающий агент. Проходит апробацию для различных видов применения.
-	10,7	3	2–3	Альтернативный вспенивающий агент, находящийся все более широкое применение.
				«+»: средние суммарные капитальные затраты (рекомендована защита от коррозии).
				«-»: средние характеристики физико-механических свойств ППУ-изоляции (высокая теплопроводность и высокая плотность ППУ).
<1	13	4	30	Альтернативные вспенивающие агенты, проходящие апробацию для различных видов применения.
4,5	10,2	4	30	«+»: хорошие показатели энергоэффективности (равны или лучше, чем у насыщенных ГФУ); низкие суммарные капитальные затраты.
				«-»: высокие эксплуатационные затраты (значительная стоимость самих веществ)

