



Технические вопросы: огнеопасность

Предыстория: сокращение производства и потребления ГФУ согласно Кигалийской поправке неизбежно приведет к 85% сокращению глобальных продаж ГФУ. Для достижения таких значительных сокращений пользователи ГФУ должны начать применение альтернативных жидкостей с гораздо более низкими ПГП¹, чем у нынешних ГФУ. Многие заменители² ГФУ с низким ПГП - огнеопасные хладагенты, что потенциально создает проблемы с безопасностью и может ограничить их применение. Безопасного и успешного применения огнеопасных хладагентов можно достичь, обеспечив надлежащее решение вопросов безопасности. Настоящий Информационный листок содержит справочный материал о воздействии огнеопасных альтернатив ГФУ.

Большинство ГФУ неогнеопасны, и эта характеристика делает ГФУ популярными у многих конечных потребителей. Неогнеопасность относительно упрощает их производство, монтаж и техобслуживание оборудования, т.е. кондиционеров воздуха и холодильников (RACHP). В случае утечки неогнеопасного хладагента, нет риска возгорания и пожара. Аналогичным образом аэрозоль, работающая на неогнеопасном распылителе ГФУ, безопаснее использовать в условиях, где есть источник возгорания.

Одной из причин невозгораемости большинства ГФУ является очень стабильная молекулярная структура. К сожалению, это свойство также придает ГФУ высокий ПГП. Альтернативы с низким ПГП обычно обладают менее стабильными молекулами. В результате многие альтернативы огнеопасны.

Спектр огнеопасности: До Кигалийской поправки, имелось множество неогнеопасных жидкостей и подход к огнеопасности был упрощенным. Если огнеопасная жидкость нежелательна, то во многих руководствах по безопасности и стандартах применялся консервативный подход, и указывалось, что огнеопасные жидкости применяться не должны.

Такой упрощенческий подход непрактичен, когда имеется мало неогнеопасных жидкостей, из которых можно было бы выбирать. Для более широкого употребления альтернатив с низким ПГП, важно признать то обстоятельство, что «уровни огнеопасности» имеют широкий диапазон. Имеется непрерывный спектр огнеопасности, включающий:

- **Жидкости повышенной огнеопасности** – они очень легко возгораются и могут гореть с взрывным эффектом.
- **Огнеопасные жидкости** – они труднее возгораются, но после возгорания продолжают гореть и могут представлять значительную опасность.
- **Жидкости пониженной огнеопасности** – труднее поддаются возгоранию, горят «мягко» и могут быть потушены, когда источник возгорания удален. Жидкости умеренной огнеопасности создают пониженный риск по сравнению с равным количеством более огнеопасной жидкости.
- **Неогнеопасные жидкости** – невозможно зажечь.

Данная шкала огнеопасности признана некоторыми ведущими международными нормами безопасности. Например, ISO 817, ISO 5149 и EN 378 содержат четыре четко выраженных класса огнеопасности. К сожалению, не все стандарты применяют такой подход. В некоторых стандартах вещества просто называются неогнеопасными или огнеопасными. Это означает, что жидкости с пониженной огнеопасностью рассматриваются наравне с жидкостями повышенной огнеопасности, тем самым резко ограничивая безопасное применение некоторых огнеопасных жидкостей.

Параметры огнеопасности:

Проблема, стоящая перед авторами норм безопасности и пользователями огнеопасных жидкостей, заключается в том, что огнеопасность является сложным вопросом и нелегко дать простое безопасное определение рабочего диапазона для каждой жидкости. Огнеопасность можно измерять несколькими способами. Самые важные параметры включают:

- **НПВ=LFL, нижний предел возгораемости (lower flammability limit)**. НПВ это минимальная концен-

1 См. глоссарий всех сокращений в Информационном листке Кигали №14.

2 См. альтернативы с низким ПГП в Информационном листке Кигали №3.

трация газа или паров, способная распространить пламя в однородной смеси этого газа или паров и воздуха.

- **ВПВ=UFL, верхний предел воспламеняемости (upper flammability limit).** ВПВ это максимальная концентрация газа или паров, способная распространить пламя в однородной смеси этого газа или паров и воздуха.
- **ТС=HoC, теплота сгорания (heat of combustion).** ТС – это энергия, выделяемая при полном сгорании соединения в присутствии кислорода, в стандартных условиях.
- **СГ=BV, скорость горения (burning velocity).** СГ - это быстрота, с которой распространяется пламя.
- **МЭВ=MIE, минимальная энергия воспламенения (minimum ignition energy).** МЭВ показывает, сколько энергии должно быть в источнике воспламенения (например, в искре или открытом огне) для того, чтобы вызвать возгорание газа или пара.

Некоторые нормы безопасности применяют НПВ, ТС и СГ для определения четырех классов огнеопасности, подытоженных в Таблице 1.

Таблица 1. Классы огнеопасности в ISO 817, ISO 5149 и EN 378

Классы огнеопасности		Нижний предел воспламеняемости, НПВ кг/м ³	Теплота сгорания, ТС, МДж/кг	Скорость горения, BV см/с
3	Повышенная огнеопасность	<0,1	или >19	-
2	Огнеопасный	>0,1	и <19	-
2L	Пониженная огнеопасность	>0,1	и <19	<10
1	Неогнеопасный	Невозможно воспламенить		

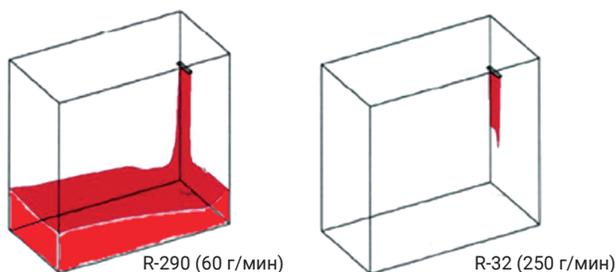
Вопрос огнеопасности усложняется различными прочими эффектами, влияющими на воспламенение. Три важных примера:

1. Точная геометрия источника возгорания может изменить МЭВ.
2. Высокая влажность воздуха может повысить скорость сгорания некоторых жидкостей.
3. Когда вытекший газ смешивается с окружающим воздухом, возникает эффект разбавления.

На Рис. 1 показано, как происходит разбавление. Для паров повышенной огнеопасности класса 3, НПВ очень низок (т.е. достаточно небольшого количества газа, смешанного с воздухом, для воспламенения) и должно произойти многократное разбавление, чтобы концентрация газа упала ниже НПВ. Для паров пониженной огнеопасности класса 2L, НПВ гораздо выше и разбавление ниже НПВ может происходить быстрее. На данном примере скорость утечки пропана высокой огнеопасности составляет всего лишь четверть от скорости утечки ГФУ-32 низкой воспламеняемости, но она создает гораздо большую опасность возгорания (красная зона).

Эти вопросы обсуждаются для демонстрации высокой сложности проблем огнеопасности. Нормы безопасности должны применять консервативный подход при отсутствии технических данных.

Рис. 1. Моделирование утечки и зоны концентрации газа выше НПВ³



Прогноз распространения огнеопасной зоны, когда R-290 (пропан, класс огнеопасности-3) и ГФУ-32 (класс огнеопасности-2L) вытекают из настенной установки RACHP. Красные зоны указывают на пространства, где пары могут воспламениться.

³ Osami Kataoka, JRAIA, January 2013, "Flammability of 2L Class Refrigerants".

Примечание: у R-290 скорость утечки 60 г/мин, а у ГФУ-32, скорость утечки в 4 раза выше - 250 г/мин.

Вероятность и серьезность рисков: Важно отличать вероятность возгорания от серьезности последствий возгорания. Вероятность возгорания в значительной мере зависит от НПВ и МЭВ:

- Жидкость высокой огнеопасности обладает низким НПВ (т.е. для возгорания достаточно малого количества газа, смешанного с воздухом) и низкой МЭВ (т.е. источник возгорания малой мощности, например, искра, способная привести к возгоранию).
- Жидкость низкой огнеопасности обладает более высоким НПВ – это значит, что зона, в которой есть риск возгорания, будет меньше (в большинстве обычных характеристик, как показано на Рис. 1). Такой жидкости также требуется более высокая МЭВ, т.е., в рискованной зоне возгорания источник возгорания должен быть более мощным.

Серьезность последствий возгорания в значительной степени зависит от СГ и ТС:

- Жидкость высокой огнеопасности обладает высокой СГ – это может привести к взрывному возгоранию внутри облака газа, который выше НПВ. Если ТС также высока, то может быть нанесен серьезный ущерб.
- Жидкость низкой огнеопасности обладает низкой СГ – если происходит возгорание, горение идет медленно. Зачастую горение бывает неустойчивым, если убрать источник возгорания.

Газы третьего класса огнеопасности (повышенной огнеопасности), например пропан, проявляют как высокую вероятность возгорания, так и высокую степень тяжести последствий после возгорания.

Газы огнеопасности класса 2L (пониженной огнеопасности), например, ГФО-1234yf или ГФУ-32 трудно возгораются (высокий НПВ и высокая МЭВ) и их низкая СГ делает последствия возгорания гораздо менее тяжелыми.

Таблица 2 показывает расхождение в основных характеристиках огнеопасности, описанных выше.

Таблица 2. Примеры основных характеристик

Жидкость	Класс огнеопасности	НПВ кг/м ³	МЭВ ¹ мДж	ТС МДж/кг	СГ см/с
Пропан	3	0,038	0,3	46	43
ГФУ-152a	2	0,130	10	16	23
Аммиак	2L	0,116	100	19	7
ГФУ-32	2L	0,307	1000	9	6
ГФО-1234yf	2L	0,289	5000	9	1.5

Интересно отметить, что аммиак многие годы широко применяется в больших промышленных системах. Он принадлежит классу 2L – жидкость пониженной воспламеняемости. Имеется мало зафиксированных случаев пожаров в результате утечки аммиака (благодаря его стойкости к воспламенению).

Жидкости с ультра-низким ПГП, например, ГФО-1234yf и жидкости с умеренным ПГП, например, ГФУ-32 являются важными альтернативами, которые могут оказаться полезными при достижении целевых показателей сокращения ГФУ согласно Кигалийской поправке. Данные Таблицы 2 показывают, что эти жидкости более устойчивы к возгоранию, чем аммиак (гораздо выше МЭВ и НПВ) и последствия возгорания более ограничены (низкая СГ и низкая ТС). Эти характеристики обнадеживают, хотя следует подчеркнуть, что до тех пор, пока не накопится опыт эксплуатации этих новых хладагентов, трудно будет определить безопасный «рабочий диапазон» для жидкостей этого типа.

По сравнению с аммиаком ГФУ-152a обладает повышенным НПВ и пониженным ТС. На основе предыдущих норм безопасности это показывает, что ГФУ-152a «менее огнеопасен», чем аммиак. Однако практический опыт показывает, что ГФУ-152a гораздо более огнеопасен, чем аммиак. Это объясняется низкой МЭВ (что делает возгорание более легким) и высокой СГ (что делает последствия более

4 Данные величины МЭВ приблизительны – они могут значительно меняться в зависимости от тестовых условий.

тяжелыми). Таким образом, необходимо избегать упрощенческого подхода при классификации огнеопасности.

Текущее применение огнеопасных жидкостей: огнеопасные жидкости уже широко применяются в качестве альтернативы ОРВ и ГФУ. Некоторые известные примеры включают:

Жидкости высокой воспламеняемости:

- Изобутан в бытовых холодильниках.
- Пропан в отдельно стоящих коммерческих холодильниках.
- Пентан при производстве ПУ изоляционной пены.
- Углеводородные смеси в качестве распыляющих газов в аэрозолях.

Жидкости низкой воспламеняемости:

- Аммиак в промышленных холодильных установках.
- ГФО-1234yf в автомобильных кондиционерах воздуха.
- ГФО-1234ze в водоохладителях.
- ГФУ -32 в малых сплит кондиционерах воздуха.

Для того, чтобы Кигаийская поправка увенчалась успехом, необходимо значительное увеличение применения огнеопасных жидкостей, требующее совместных усилий на международном и национальном уровнях.

Опасности, сопряженные с модернизацией существующего оборудования:

Новое оборудование может быть сконструировано надлежащим образом для применения огнеопасных жидкостей с учетом соответствующих аспектов безопасности. Применение огнеопасного хладагента в уже существующем модернизированном оборудовании, которое рассчитано на неогнеопасную жидкость, создает значительные риски с точки зрения безопасности и в целом не рекомендовано. На недавней встрече Исполнительного комитета было согласовано Решение 72/17, в котором говорится: «всякий, кто модернизирует холодильники и кондиционеры воздуха, работающие на ГХФУ, под огнеопасные или токсичные хладагенты и занимается их обслуживанием, делает это на свой страх и риск, беря на себя всю ответственность».⁵ Органы Монреальского протокола не несут ответственности за нежелательные последствия в результате применения огнеопасных хладагентов в оборудовании, которое не предназначено для их использования.

Действия, которые следует предпринять на международном уровне:

Требуется предпринимать некоторые меры, в том числе:

- Органам международных стандартов следует прилагать постоянные усилия по обновлению стандартов, дабы надлежащим образом отражать возможности безопасного использования огнеопасных жидкостей в ряде применений, особенно, на рынке холодильников и кондиционеров воздуха. Стандарты, не признающие огнеопасный спектр, должны пересматриваться.
- Научным центрам следует проводить углубленные исследования эффективной и безопасной эксплуатации огнеопасных жидкостей, дабы представить доказательства в поддержку пересмотра стандартов.
- Производителям оборудования следует внести конструктивные изменения в свою продукцию, для безопасного применения огнеопасных жидкостей.
- Данные об успешном применении огнеопасных жидкостей следует распространять с целью укрепления доверия к их дальнейшему использованию.

Действия стран статьи 5: Многим странам А5 следует предпринимать дальнейшие действия в поддержку расширенного применения огнеопасных жидкостей, в том числе:

- Повышать осведомленность и углублять понимание, разъяснять, что огнеопасные жидкости можно безопасно применять, что они широко присутствовали на некоторых рынках во время выведения ХФУ.
- Обеспечить переподготовку для техников, которые занимаются монтажом и техобслуживанием.
- Обеспечить специализированным оборудованием и инструментарием (например, инструментами, рассчитанными для безопасной работы в среде, в которой присутствуют огнеопасные пары).
- Оценить национальное или территориальное законодательство / стандарты, которые нуждаются в поправках, чтобы привести их в соответствие с международными стандартами безопасности.

5 См. www.multilateralfund.org/72/English/1/7247.pdf