**Методы управления энергоэффективностью и безопасностью промышленных систем холодоснабжения с промежуточным хладоносителем**

Галкин М.Л., Генель Л.С., Кириллов В.В.

ООО «Спектропласт», Россия, 111123, г.Москва, 2-я Владимирская ул., д.11,

[info@splast.ru](mailto:info@splast.ru)

Институт холода и биотехнологий Санкт-Петербургского университета ИТМО

Основным решением на современном этапе, позволяющим снизить объемы применения хладагентов (Монреальский и Киотский протоколы) является использование систем холодоснабжения (**СХ**) с вторичным контуром **(ВК)**, в которых теплота отводится от охлаждаемого объекта к испарителю холодильной машины посредством рабочей жидкости – хладоносителя.

Например, для систем холодоснабжения непосредственного (трубного) кипения объем заправки аммиака составляет до 2кг на кВт холодопроизводительности, а для СХ с хладоносителем аналогичной холодопроизводительности объем заправки аммиака снижается до величины менее 200г на кВт.

Анализ влияния хладоносителей, конструкционных материалов ВК СХ и производных продуктов их взаимодействия на изменение энергоэффективности СХ в процессе эксплуатации удобно производить по средней стоимости удельных затрат на отведение СХ с ВК теплоты (S) с учетом изменения эффективности тепломассопереноса в СХ с ВК [1]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где t – период времени эксплуатации СХ с ВК, – затраты на потребленную компрессорами СХ электроэнергию; – затраты на потребленную циркуляционными насосами ВК электроэнергию; – текущие затраты на восстановление свойств хладоносителя, СХ и ВК (например, в ООО «Спектропласт» норма естественной убыли для пропиленгликоля в закрытом ВК установлена 1 % в год); непредвиденные затраты, связанные с работой СХ с ВК (затраты на устранение аварийных ситуаций в ВК, задвижек, клапанов, определяются по статистическим данным с учетом проектных решений, длительности и интенсивности эксплуатации ВК); Mр - расходы на обслуживающий персонал: стоимость содержания рабочего места, заработная плата, орудия труда и другие (определяются по фактическим затратам).

Величина Мс в проектных расчетах принимается , где - проектная стоимость СХ с ВК, а - проектный срок эксплуатации СХ с ВК. Как правило, лет. Изменение расчетной (проектной) Мс относительно фактической позволяет определить в определенной мере и надежность системы холодоснабжения.

Уравнение (1) позволяет определить энергоэффективность хладоносителя для проектных и реальных условий как функцию изменения фактических затрат на перенос теплоты относительно проектных. При этом для хладоносителя, имеющего свойства близкие к идеальным, справедливо уравнение:

|  |  |
| --- | --- |
| ,  где . | (2) |

Из анализа (1) нетрудно увидеть, что изменение состава и свойств хладоносителя в процессе эксплуатации СХ приводит к изменению теплофизических свойств, коррозии, в т.ч. биопоражению СХ, что в конечном итоге приводит к снижению холодопроизводительности СХ, т.е. к повышению затрат на перенос теплоты [1].

Экспериментальными исследованиями установлено, что изменение состава хладоносителя во времени носит сложный характер. В начальный момент времени в новой СХ содержание компонентов в составе хладоносителя можно описать формулой:

Х0 = САVm + CBVm + CZVm + CDVm, (3)

где Х0 – исходный состав хладоносителя в начальный период, время эксплуатации t = 0; Vm – масса хладоносителя; C – концентрация веществ: А – молекула основного вещества; В – ингибитор коррозии; Z – примеси; D – присадки (пеногасящие, снижающие вязкость, комплексоны, стабилизаторы).

Из (1) ÷ (3) следует, что вероятный состав хладоносителя в любой момент времени t определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| Хt = X0 ∙ Криска(t) ∙ ΔР : t, | (4) |

где ΔР – вероятность изменения химического состава хладоносителя, является реализациями случайной величины, полученной методом Монте-Карло, t – время эксплуатации СХ с учетом регламентного обслуживания:

|  |  |
| --- | --- |
| t = tw/tr), | (5) |

где kt – эмпирический коэффициент, tw – время эксплуатации СХ с ВК, tr – время эксплуатации СХ с момента последнего ремонта, Криска – функция локальных коэффициентов эффективности (Кэфф), стабильности (Кстаб) и опасности (Коп):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

Риски каждого коэффициента оцениваются по соответствующим параметрам хладоносителя и их критическим значениям, оказывающим влияние на конкретном поле безопасности. Если Криска < 0,3, эксплуатация ВКСХ безопасна, 0,3 ≤ Криска ≤ 0,8 – свидетельствует о необходимости проведения ремонтных работ ВКСХ и регенерации хладоносителя, при Криска > 0,8 – эксплуатация СХ не рекомендуется в связи с высокой вероятностью аварии СХ.

Для снижения вероятности изменения химического состава хладоносителя, т.е. для выполнения условия , достаточно проведения профилактических мероприятий:

* для снижения коррозионной активности хладоносителя рекомендуется применять комплекс ингибиторов коррозии и накипеобразования, выпускаемых ООО «Спектропласт» по ТУ 2422-014-11490846-07 «Концентраты добавок для хладоносителей на основе водного раствора пропиленгликоля» марки КПГ-ПК;
* для корректировки свойств хладоносителя рекомендуется применять добавки, регулирующие рН, температуру начала кристаллизации, коррозионную активность и другие свойства хладоносителей;
* для заправки новых систем рекомендуется применять энергосберегающие низковязкие хладоносители серии ХНТ-НВ (ТУ 2422-011-11490846-07 «Хладоносители на основе пропиленгликоля с низкой вязкостью»). ХНТ-НВ разрешены Роспотребнадзором РФ к применению на территории СНГ в системах охлаждения, в т.ч. для пищевых производств.

Вязкость разработанных энергоэффективных хладоносителей ХНТ-НВ, как показали измерения, как минимум в два раза меньше, чем у базового хладоносителя (водного 54 %-го раствора пропиленгликоля) (таблица).

Другим перспективным направлением повышения энергоэффективности хладоносителя на основе пропиленгликоля являются электролитные водно-пропиленгликолевые хладоносители. Преимущества ВПГЭ по сравнению с водными растворами пропиленгликоля проявляются в том, что ВПГЭ имеют значительно более низкие температуры кристаллизации, вязкость ВПГЭ хладоносителей в 2,6-5 раз меньше вязкости водных растворов пропиленгликолевя в отсутствие электролита (при одной и той же температуре), холодопроизводительность парокомпрессорной холодильной машины в интервале температур -5...-15 град. возрастает до 20%, холодильный коэффициент при этом увеличивается до 13% [2].

Таблица. Динамическая вязкость хладоносителей с температурой начала кристаллообразования минус 40 оС, мПа•с

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название хладоносителя | Динамическая вязкость при | | |
| -40 ˚С | -20 ˚С | 0 ˚С |
| Пропиленгликоль, 54 % | 950 | 110 | 23 |
| ХНТ-НВ-40 | 190 | 43 | 10 |
| ВПГЭ | 130 | 18,3 | 4,0 |

Серийно выпускаемые хладоносители ХНТ-НВ и разработанные ВПГЭ обеспечивают снижение энергозатрат от 15 до 30%. Для ВПГЭ в настоящее время стоит вопрос проведения промышленных испытаний.

Для прогнозирования стабильности, эффективности и безопасности разработанного хладоносителя при длительной эксплуатации и обеспечения Криска → 0 (см. уравнение (3)) предприятиями холодильной отрасли широко применяется разработанный нами алгоритм контроля состава и свойств хладоносителей - мониторинг [3]. В ряде случаев мониторинг уже позволил на ранних стадиях выявить и устранить причину изменения состава и свойств хладоносителя, непосредственно влияющую на безопасность и энергоэффективность СХ.

Минимальная периодичность мониторинга хладоносителей определена опытным путем с учетом вероятности событий и составляет для систем объемом до 50 м3 не реже одного раза в год и свыше 50 м3 один раз в 6 месяцев. Мониторинг хладоносителя используют сегодня более 100 предприятий на территории РФ, в том числе ОАО «Казанский жировой комбинат» (г. Казань), ОАО «Московский комбинат шампанских вин» (г. Москва), ЗАО «МПБК «Очаково» (г. Москва, г. Краснодар, г. Пенза) и др.

Важным и актуальным вопросом является восстановление энергоэффективности действующего хладоносителя и СХ. Разработаны технологии регенерации как без остановки, так и по методу кратковременной остановки системы холодоснабжения, предполагающей слив хладоносителя в резервные емкости и введение в хладоноситель коагулянтов для удаления продуктов коррозии и др. примесей. Разработанная технология внедрена на ООО «ОПХ» филиал «Шихан» при регенерации 200 м3 хладоносителя (рис.).

|  |
| --- |
| **а б**  **Рис.** Фотография хладоносителя до регенерации (а) и после регенерации (б) |

Таким образом, применение трех инструментов: 1) выбор толерантных друг к другу хладоносителей и материалов ВКСХ; 2) корректировка состава и свойств хладоносителя по результатам мониторинга и биомониторинга с применением разработанных концентратов; 3) регенерация хладоносителя и очистка ВКСХ, - позволяет обеспечить длительный прогнозируемый срок эффективной и безопасной работы СХ с ВК и хладоносителя, в том числе на действующих предприятиях.

**Литература**

1. Генель Л.С., Галкин М.Л. *Микробиологическая безопасность систем охлаждения и кондиционирования воздуха // Холодильная техника.* 2009. №2. С. 48-52.
2. Кириллов В.В., Герасимов Е.Д. *Энергетическая эффективность применения хладоносителей на основе водно-пропиленгликолевых растворов электролитов. Холодильная техника.* 2008, №12. С. 40-43.
3. Галкин М.Л. *Эксплуатационная безопасность систем холодоснабжения // Энергобезопасность и энергосбережение.* 2009. №2. С. 14-20.