

что позволяет использовать достаточно мощные кондиционеры и тепловые насосы на углеводородах в домашних условиях.

Актуальной задачей является разработка смеси пропан/бутан для снижения величины избыточного давления в контуре. При оценке использования такой смеси в качестве рабочего тела теплонасосного дистиллятора важным фактором является температурный глайд, величина которого может существенно влиять на величину минимальных температурных напоров в теплообменных аппаратах.

Для температур конденсации в пределах 90 °С используются также и такие природные рабочие вещества, как аммиак и углекислота. Однако известные трудности с высокими рабочими давлениями, большим перегревом в процессе сжатия паров и коррозионной активностью к медьсодержащим материалам (аммиак) и низкой критической точкой (углекислота) существенно сдерживают применение данных рабочих веществ при высоких температурах.

Выводы

Проведенный обзор показывает ограниченность вариантов выбора законодательно разрешенных рабочих веществ низкого давления для применения в высокотемпературных тепловых насосах. По мнению авторов, целесообразность однозначного запрета на использование синтетических рабочих веществ в условиях отсутствия равноценной замены должна быть четко обоснована с учетом комплексной оценки воздействия на окружающую среду и таких показателей, как TEWI (Total Equivalent Warming Impact – полный эквивалент глобального потепления).

Литература

1. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат. 1981. – 320 с.
2. Цветков О.Б. Холодильные агенты: Монография. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГУ-НиПТ. 2004. – 216 с.
3. Теплофизические основы получения искусственного холода / под редакцией А.В. Быкова. – М.: Пищевая промышленность. 1980. – 233 с.
4. Елистратов С.Л. Комплексное исследование эффективности тепловых насосов: дисс. ... д-ра техн. наук; – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 378 с.
6. Калнинь И.М., Фадеков К.Н. Оценка эффективности термодинамических циклов парокомпрессионных холодильных машин и тепловых насосов // Холодильная техника. 2006, №3. – с. 16 – 25.
7. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, к Венской конвенции об охране озонового слоя, Оттава, 1987.
8. BS EN 378-1:2008+A1:2010 Refrigerating systems and heat pumps. Safety and environmental requirements. Basic requirements, definitions, classification and selection criteria. – Введ. 29.08.2008

Новые области применения регенеративных холодильно-газовых машин

Порутчиков А.Ф., к.т.н. Крысанов К.С., Королев И.А.
Университет машиностроения
student-msuie@mail.ru

Аннотация. Описаны области применения низкотемпературного охлаждения. Приведены наиболее актуальные схемы получения низкотемпературного теплоносителя для нужд криохимических технологий, с помощью холодильно-газовой машины Стирлинга.

Ключевые слова: холодильно-газовые машины Стирлинга, низкотемпературное охлаждение, охлаждение в криохимии

Известно, что повышение температуры приводит к увеличению скорости химических реакций. Согласно уравнению Аррениуса скорость химической реакции пропорциональна числу эффективных соударений в единицу времени:

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (1)$$

где k – константа скорости реакции; k_0 – предэкспоненциальный множитель; E – энергия активации.

Однако, более века назад были обнаружены процессы, скорость которых при уменьшении температуры увеличивается. Данная аномалия объясняется изменением механизма процесса и образованием термически нестойких молекулярных комплексов, способствующих данному направлению химического процесса. Уменьшение температуры по-разному влияет на механизм сопутствующих друг другу взаимодействий: с наибольшей вероятностью при низкой температуре осуществляется процесс с наименьшей энергией активации, побочные процессы (как правило, характеризующиеся более высокой энергией активации) подавляются, реализуется высокоселективный химический процесс [1].

На сегодняшний день существует ряд перспективных химических технологий, осуществляемых с помощью воздействия холодом, например препаративная и матричная криохимия и криохимическая технология перспективных материалов.

Особенно стоит отметить криохимические технологии твердофазных материалов. Прогресс в области, охватывающей такие направления, как микроэлектроника, космическая техника, нетрадиционная энергетика, вычислительная техника, техника и технология высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), техника и технология наноматериалов, в решающей степени зависят от появления новых и улучшения качества известных твердофазных материалов со специальными магнитными, электрическими и механическими свойствами.

Криохимическая технология—перспективное направление, основанное на сочетании низко- и высокотемпературных воздействий на материалы, предложенное 50 лет назад и развиваемое на базе фундаментальных работ в МГУ им. М.В. Ломоносова, а также в Московском институте химического машиностроения (в настоящее время – Университете машиностроения).

При криохимическом способе получения нанопорошков последовательно проводят стадии:

- формирование гомогенной (раствор, экстракт) или гетерогенной (суспензия, эмульсия) жидкофазной системы;
- замораживание жидкофазной системы;
- сублимация под вакуумом растворителя или сплошной фазы в суспензиях [2].

В криохимической технологии получения наночастиц стадия замораживания в решающей степени определяет структуру и дисперсные характеристики целевого продукта. Для получения ультрадисперсной структуры продукта процесс замораживания должен протекать настолько быстро, чтобы предотвратить сегрегацию компонентов раствора. Получение монодисперсной структуры замороженного продукта происходит при достижении скорости замораживания не менее 1 – 3 мм/с и темпе охлаждения не ниже 30 – 50 К/с [2]. На практике для быстрого замораживания формируют фрагменты раствора с малым характерным размером (в пределах десятых долей миллиметра), которые затем замораживают одним из следующих способов:

- распыление в жидкий азот или другие криогенные жидкости;
- нанесение тонкого слоя (пленки) раствора на поверхность, охлаждаемую до низкой температуры с помощью криожидкостей;
- распыление в охлаждаемую органическую жидкость (например, гексан);
- распыление непосредственно в вакуум.

Из-за отсутствия эффективного оборудования самый распространенный способ –

использование кипящего жидкого азота с нормальной температурой кипения ниже $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$. Огромный температурный напор обеспечивает необходимую скорость замерзания капель растворителя, но она могла бы быть еще больше, если бы не паровая прослойка, образующаяся в результате интенсивного кипения азота. Еще один важный недостаток данного способа – отсутствие возможности регулирования температуры.

Указанные недостатки отсутствуют при осуществлении криогранулирования в теплоносителе, не изменяющем свое агрегатное состояние. В технологических процессах криогранулирования, где в качестве растворителя используется вода, теплоносителем, в котором происходит замораживание капель, может выступать гексан.

Гексан (C_6H_{14}) – предельный неразветвленный углеводород. Температура плавления – $95,32\text{ }^{\circ}\text{P}$, температура кипения – $68,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3]. Коэффициент динамической вязкости при температуре $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $1,82 \cdot 10^{-3}\text{ Па}\cdot\text{с}$, плотность – $752,6\text{ кг/м}^3$ [4]. Существенными недостатками гексана являются его токсичность для человека и горючесть. При концентрации $0,5\%$ (об.) у человека начинается головокружение после 10 мин, максимально допустимая концентрация составляет $0,05 - 0,07\%$. Концентрационные пределы распространения пламени в воздухе $1,25 - 6,90$ (об.%) [5]. Однако, физические и термодинамические свойства гексана делают возможным применение его в качестве теплоносителя.

В настоящее время наиболее часто пользуются двумя способами получения низкотемпературного теплоносителя: охлаждение с помощью жидкого азота и каскадные парокомпрессионные холодильные машины.

Существует и другой способ получения низкотемпературного теплоносителя – холодильно-газовые машины Стирлинга (ХГМ). Согласно [6], в диапазоне температур от -40 до $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ холодильно-газовые машины имеют эффективность выше, чем парокомпрессионные холодильные машины.

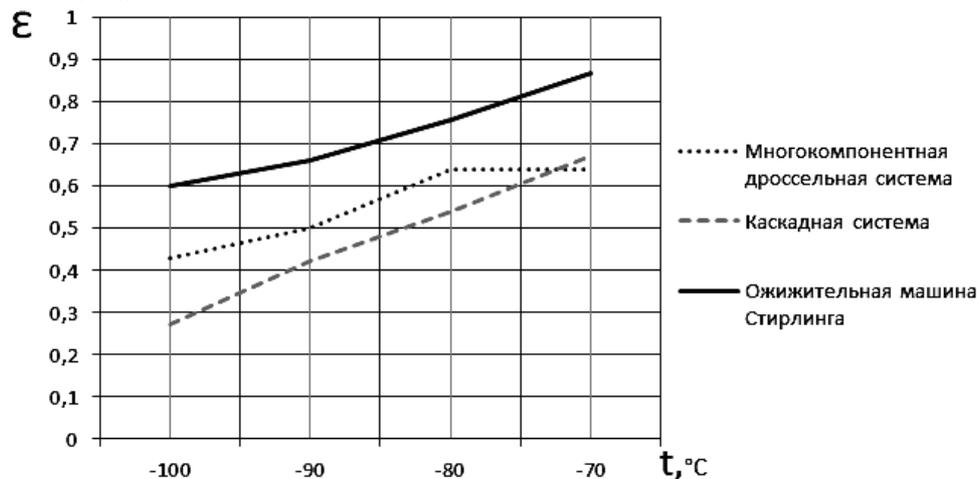


Рисунок 1. Сравнение холодильных коэффициентов систем на разных температурных уровнях охлаждения холодильного агента [7], [8]

Целесообразно рассматривать две основные схемы:

- охлаждение хладагента, в котором осуществляется криогранулирование с помощью реакционного аппарата, оснащенного охлаждающей рубашкой, через которую циркулирует промежуточный теплоноситель (жидкий PO_2 , спирт, фреон, аммиак, гексан – выбираются исходя из температурного режима процесса);
- непосредственное охлаждение холодильного агента в ХГМ и прокачивание его через рабочий объем реактора.

Схема с промежуточным теплоносителем изображена на рисунке 2. Её недостатками являются потери от недорекупации тепла при передаче через рубашку, а так же определяемая размерами аппарата малая площадь поверхности теплообмена, которая ограничивает тепловой поток через рубашку.

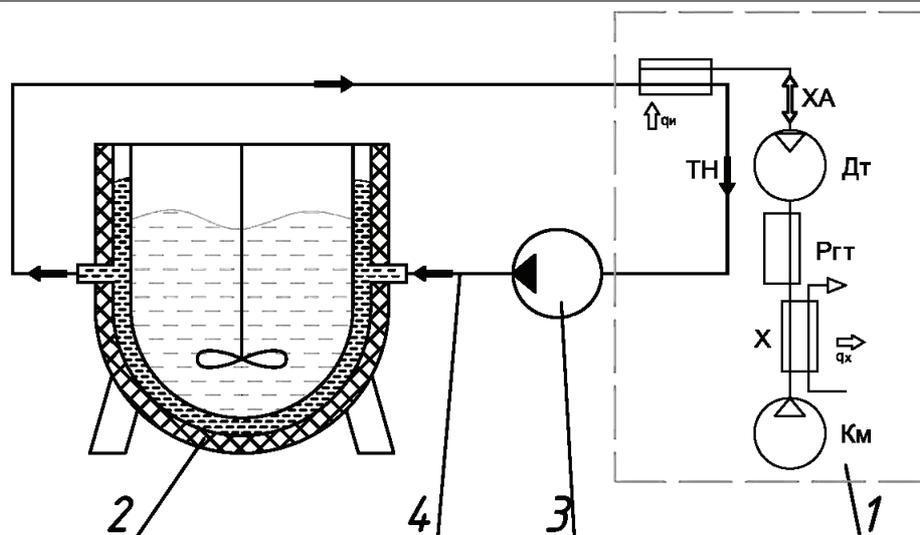


Рисунок 2. Схема охлаждения с помощью промежуточного теплоносителя: 1 – регенеративная холодильно-газовая машина Стирлинга, 2 – реактор с мешалкой и рубашкой охлаждения, 3 – насос циркуляции хладоносителя, 4 – трубопровод хладоносителя; ТН – теплоноситель; ХА – холодильный агент; РГТ – регенеративный теплообменник

Схема непосредственного охлаждения (см. рисунок 3) представляется наиболее энергоэффективной, поскольку в ней задействован минимум теплообменных аппаратов (всего один – теплообменник нагрузки ХГМ). Недостатком является загрязнение теплоносителя продуктом, так как процесс криогранулирования осуществляется непосредственно в теплоносителе.

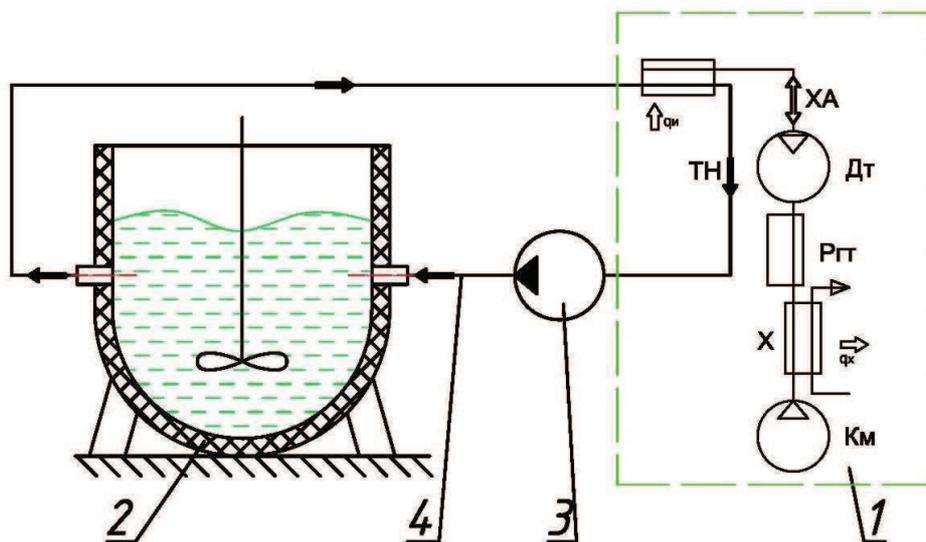


Рисунок 3. Схема непосредственного охлаждения холодильного агента в ХГМ Стирлинга: 1 – регенеративная холодильно-газовая машина Стирлинга, 2 – реактор с мешалкой и рубашкой охлаждения, 3 – насос циркуляции хладоносителя, 4 – трубопровод хладагента

Для охлаждения теплоносителя с помощью ХГМ необходимо чтобы теплообменник нагрузки был двухконтурным. При этом во внутренней полости происходит внутренний процесс получения холода, а снаружи происходит процесс охлаждения теплоносителя. Такой теплообменник может выполняться единым блоком заодно с полостью расширения или же быть составным. При выполнении его составным, верхняя часть представляет собой канал-

ный теплообменник с игольчатым или иным оребрением.

Выводы

Использование регенеративных холодильно-газовых машин Стирлинга является эффективным способом получения низкотемпературного теплоносителя, востребованным в бурно развивающихся криохимических технологиях. Холодильно-газовые машины Стирлинга показывают высокую эффективность даже в сравнении с современными автокаскадными холодильными системами на смесевых хладагентах. Развитие данных способов охлаждения тормозится высокой стоимостью производства, что объясняется сложностью изготовления, но при условии массового выпуска машин данного типа этот фактор нивелируется.

Литература

1. Третьяков Ю.Д. Низкотемпературные процессы в химии и технологии // Соросовский образовательный журнал, №4, 1996.
2. Генералов М.Б. Криохимическая нанотехнология: Учеб. пособие для вузов. -М.: ИКЦ "Академкнига", 2006. -325с.:ил.
3. Воскресенский П.И. Справочник по химии. -М.: Просвещение, 1970.-352с.:ил.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. -М.:Наука, 1972.-720с.:ил.
5. Вайсбергер А. Органические растворители. -М.: Изд. Иностранной литературы 1958.
6. Киррилов Н.Г. Холодильные машины Стирлинга умеренного холода // Интернет—газета Холодильщик.ru, №10(46), 2008.
7. Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г. Холодильные машины и аппараты. Холодильные машины и аппараты. -М.:Госторгиздат. 1960.
8. Podcherniaev O., Boiarski M., Lunin A. Comparative Performance of two-stage cascade and mixed refrigerant systems in a temperature range from -100 °C to -70 °C. //International refrigeration and air conditioning conference. PurdueUniversity. 2002.

Получение растений *Agrostis stolonifera* L. устойчивых к высоким концентрациям свинца с помощью клеточной инженерии

К.б.н. доц. Гладков Е.А.^{1,2,3}, ст.преп. Гладкова О.Н.¹,
доц. Глушецкая Л.С.¹, д.б.н. проф. Долгих Ю.И.^{1,2}

¹Университет машиностроения

² Учреждение Российской академии наук Институт физиологии растений
им. К.А. Тимирязева РАН,

³Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
gladkovu@mail.ru

Аннотация. Разработана технология получения газонной травы *Agrostis stolonifera*, устойчивой к солям свинца. Для получения растений, толерантных к свинцу, была использована прямая схема селекции, включающая в себя культивирование каллуса в течение 2 пассажей на модифицированной среде МС с 650 мг/л свинца, регенерацию и укоренение растений на среде МС с 650 мг/л свинца. Полученные растения сохраняли высокие декоративные качества при высоких концентрациях свинца и могут быть использованы в качестве исходных форм при получении толерантных к данному металлу сортов.

Ключевые слова: газонные травы, тяжелые металлы, клеточная селекция, токсичность

В почвах городских экосистем содержится значительное количество тяжелых металлов, сопоставимое с содержанием их в естественных геохимических аномалиях либо даже превосходящее его. Растения, произрастающие на почвах, загрязненных тяжелыми металла-