

УДК 621.592.2

**В.А. Наер**, доктор техн. наук, **А.В. Роженцев**, доктор техн. наук, **Весам Хасан Анвар**, аспирант  
Одесская национальная академия пищевых технологий, Учебно-научный институт холода, криотехнологий и  
экоэнергетики им. В.С. Мартыновского, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082  
*e-mail: dolphin@te.net.ua*

## ДЖОУЛЬ-ТОМСОНОВСКИЕ РЕФРИЖЕРАТОРЫ С МНОГОКОМПОНЕНТНЫМИ РАБОЧИМИ ТЕЛАМИ

*Использование смесей углеводородов в качестве многокомпонентных рабочих тел позволяет создавать простые надежные и долговечные джоуль-томсоновские рефрижераторы для температур охлаждения из интервала ( $-183...-73$ ) °С. Приведены температурные, тепловые, энергетические и гидравлические характеристики ряда опытных образцов рефрижераторов, которые созданы на основе герметичных малых одноступенчатых смазываемых поршневых компрессоров, выпускаемых серийно для различных холодильных агрегатов. Применение в рефрижераторах смазываемых компрессоров вплоть до температуры охлаждения  $-183$  °С обеспечивает большой ресурс их работы. Именно это обстоятельство позволяет надеяться на перспективность широкого использования разработанных образцов низкотемпературного оборудования с рефрижераторами в их составе, несмотря на то, что они несколько уступают по энергетической эффективности газовым холодильным машинам.*

**Ключевые слова:** Рефрижератор. Многокомпонентное рабочее тело. Термодинамический цикл. Рекуперативный теплообменник. Схема. Герметичный смазываемый компрессор. Эффективность.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

На основе многокомпонентных рабочих тел (МРТ) можно создавать эффективные рефрижераторы. Формирование оптимальных МРТ является сложной задачей. При её решении должны учитываться многие факторы, в том числе и тип рефрижератора.

В настоящей статье рассматриваются проблемы применения МРТ в джоуль-томсоновских рефрижераторах (Д-Т-рефрижераторах), реализующих дроссельные регенеративные циклы [1-3].

### 2. ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МРТ

Выполненные ранее теоретические разработки позволили сформулировать ряд основных принципов, которыми в настоящее время руководствуются при формировании смесей для этих рефрижераторов [1-3]. В качестве основного низкотемпературного компонента в МРТ должны применяться вещества, температура кипения которых близка при давлении обратного потока к требуемой температуре охлаждения. Причем, должны учитываться особенности неазеотропных смесей.

К основному компоненту следует добавлять вещества, имеющие более высокие критические температуры, самое главное, — более высокие значения изотермического дроссель-эффекта при температуре окружающей среды  $T_{oc}$  по сравнению с основным

компонентом, так как в указанных циклах холодопроизводительность и, в значительной мере, энергетическая эффективность определяются именно этим эффектом.

Компоненты, имеющие критические температуры между их значениями у основных и наиболее высоки кипящих компонентов, называются промежуточными. Их число в смеси также зависит от многих факторов и в том числе от того, есть ли потребность в полезной холодопроизводительности на промежуточных температурных уровнях. Необходимо также учитывать, какой тип фазового равновесия в них наблюдается в смеси с другими компонентами, например, парожидкостное равновесие или равновесие с расслоением жидких фаз.

В целом в основу формирования смесей для Д-Т-рефрижераторов должен быть положен термодинамический подход, учитывающий такие показатели, как требуемая величина температуры охлаждения  $T_x$ , холодопроизводительность  $Q_x$ , реализуемость в  $q, T$ -диаграмме процессов теплообмена, происходящих в рекуперативных теплообменниках. Кроме этого при поиске оптимального состава МРТ нужно стремиться к максимальной энергетической эффективности рефрижератора.

Следует отметить, что сформированный с учётом этих показателей состав смеси является заправочным, и он может заметно отличаться от действительного состава, циркулирующего в установке. Последнее объясняется разной растворимостью компонен-