

# ТРАНСПОРТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ И ПРАВИЛА ИХ ДОСТАВКИ. ЗЕРОТОРЫ И АККУМУЛЯТОРЫ ХОЛОДА

О. В. Соболев, к.х.н., доцент; Д. А. Шкильнюк; Д. В. Мальцев

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** В настоящее время перспективным способом безмашинного охлаждения является применение аккумуляторов холода и зероторов в авторефрижераторах при внутригородских перевозках. В аккумуляторных системах охлаждения используют теплоту плавления эвтектических растворов. В данной работе предложена методология к подбору составов смесей кристаллогидратов на основе построения и анализа равновесных и неравновесных диаграмм состояния для обеспечения кристаллизации с малыми переохлаждениями в зависимости от концентрации компонентов и термической предыстории жидкой фазы.

**Ключевые слова:** авторефрижератор, зеротор, внутригородские перевозки, кристаллогидрат, диаграмма состояния, эвтектический состав.



**Соболев**  
**Оксана Викторовна**



**Шкильнюк**  
**Давид Александрович**



**Мальцев**  
**Дмитрий Валентинович**

Применение аккумуляционного охлаждения в авторефрижераторах создает экологическую чистоту окружающей среды. За рубежом данный вид охлаждения широко используется, в частности, фирма «Carrier Transicold» (Франция) предлагает серию установок с машинно-аккумуляционным охлаждением «Vatna» для изотермических автофургонов объемом от 4 до 23 м<sup>3</sup> с температурой заморозки эвтектического раствора -32°С. Установки, предназначенные для перевозки быстрозамороженных продуктов, рассчитаны на 14 ч непрерывной работы при температуре окружающего воздуха 30°С. Мировой лидер в производстве эвтектических плит – фирма «FIT s.p.a.» из Италии предлагает серии эвтектических плит моделей EBS и EFR. Практическое использование холодоаккумуляционных материалов требует разработки надежных конструктивных решений, направленных на максимальное использование положительных качеств указанных материалов.

К скоропортящимся грузам относятся грузы, которые для обеспечения сохранности при перевозке требуют соблюдения температурного режима [1,2]. В соответствии с Правилами доставки скоропортящихся грузов автотранспортом [3], скоропортящиеся грузы подразделяются на следующие группы:

- 1) продукты растительного происхождения: фрукты, ягоды, овощи, грибы и др.;
- 2) продукты животного происхождения: мясо различных животных и птиц, рыба, икра, молоко, яйца и др.;
- 3) продукты переработки: молочные продукты, жиры различные, замороженные плоды, колбасные изделия и другие мясные продукты, сыры и т.п.;
- 4) живые растения: саженцы, цветы и др.

По способу температурной обработки скоропортящиеся грузы подразделяются на пять групп:

- 1) свежие. Такие грузы не подвергают обработке, способной изменить их естественное состояние;
- 2) охлаждённые. Грузы с температурой от  $-6$  до  $+4$  °С;
- 3) замороженные. Грузы с температурой от  $-7$  до  $-17$  °С;
- 4) глубокозамороженные. Грузы, охлаждённые до  $-18$  °С и ниже;
- 5) подогретые. Грузы с температурой выше окружающего воздуха.

Для сохранения качества скоропортящихся продуктов питания, подвергаемых охлаждению, замораживанию и глубокому замораживанию, используется так называемая «цепочка холода», представляющая собой совокупность технических средств и методов, с помощью которых продукты сохраняют свои потребительские свойства [4].

Спецификой перевозки скоропортящихся грузов рефрижераторами и «термосами» (изотермическими фургонами) является строгое соблюдение сроков доставки и температурного режима. Температурный режим транспортировки грузов устанавливается индивидуально, в соответствии с правилами перевозок скоропортящихся грузов и видом самого груза. Кроме того, перевозимые в одном автомобиле скоропортящиеся грузы должны быть совместимы друг с другом, то есть один груз не должен оказывать неблагоприятного воздействия на другой в силу своего специфического запаха, состояния и т.д.



Рис. 1. «Цепочка холода»

С целью сохранения свойств и качества скоропортящихся грузов, их перевозка осуществляется в специализированном подвижном составе — изотермических и рефрижераторных автомобилях (полуприцепах) грузоподъемностью от 1,5 до 25 тонн и объемом от 10 до 92 м<sup>3</sup>. Однако охлаждающие устройства таких транспортных средств (ТС) требуют больших энергозатрат и увеличивают издержки при перевозке. Например, большим недостатком применения фургонов, в частности изотермических и рефрижераторов, является увеличение себестоимости перевозок на 30- 133% [5].

Изотермические фургоны и рефрижераторы используются для перевозки скоропортящихся грузов, имеют тепловую изоляцию от внешней среды и оборудованы устройствами для принудительного охлаждения или приборами для подогрева и делятся на две категории по коэффициенту теплопередачи [6]:

- 1) IN - обычное изотермическое транспортное средство с коэффициентом теплопередачи, не превышающим 0,7 Вт/м<sup>2</sup>К;
- 2) IR - изотермическое транспортное средство с усиленной изоляцией с коэффициентом теплопередачи, не превышающем 0,4 Вт/ м<sup>2</sup>К.

В Соглашении о международных доставках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих доставок [7], применяют понятие класс: А, В, С, D, E, F для ТС в зависимости от свойств изоляции, уровня поддерживаемой температуры и сфер деятельности, то есть назначения конкретного ТС.

1. Класс А: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет выбирать температуру внутри изотермического кузова в пределах от  $+12$ °С до  $0$ °С включительно.
2. Класс В: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет выбирать температуру внутри изотермического кузова в пределах от  $+12$ °С до  $-10$ °С включительно.
3. Класс С: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет выбирать температуру внутри изотермического кузова в пределах от  $+12$ °С до  $-20$ °С включительно.
4. Класс D: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет поддерживать температуру внутри изотермического кузова  $0$ °С.
5. Класс E: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет поддерживать температуру внутри изотермического кузова  $-10$ °С.
6. Класс F: ТС с такой охлаждающей способностью, которая позволяет поддерживать температуру внутри изотермического кузова  $-20$ °С.

Краткая характеристика классов с учетом назначения специализированного автотранспортного средства представлена в таблице 1.

Существуют различные способы охлаждения кузова. Один из них — это использование временного источника холода, т.е. устройства, использующего переход некоторых веществ (сухого льда, эвтектических растворов и сжиженных газов) из одного состояния в другое с поглощением тепла из окружающей среды. Сухой лед поддерживает низкую температуру (переход углекислоты из твердого состояния в газообразное происходит при температуре  $-78$  °С) и чистоту, однако стоимость углекислоты высокая.

Эвтектические растворы — это водные растворы минеральных или металлических солей и органических соединений (например, дихлорметан или фреон). Использование оттаивания замороженных эвтектических растворов для охлаждения производится с помощью зероторов и аккумуляторов холода (ФПХАМ).

Таблица 1.

Краткая характеристика классов с учетом назначения специализированного автотранспортного средства

Группа и класс подвижного состава	Отличительный знак	Коэффициент теплопередачи	Особенности устройства фургона	Назначение	Температурный режим
<b>Изотермические фургоны</b>					
С нормальной изоляцией кузова	IN	0,60	Кузов имеет термоизоляцию и не имеет принудительного охлаждения или подогрева	Перевозка продуктов внутри города (на коротких расстояниях) при температуре погрузки	При наружной температуре фургона +35°С разница температур снаружи и внутри не более 1°С в течение 1 ч.
С усиленной изоляцией	IR	0,35			То же, температура внутри фургона та же, что и при погрузке
<b>Фургоны-ледники</b>					
Класс А	RNA	0,60	Кузов изолирован и имеет принудительное охлаждение (водный лед, чистый или с добавлением соли, сухой лед, сжиженные газы и т.п.) без холодильной установки	Перевозка охлажденных или замороженных продуктов на небольшие расстояния	Температура внутри незагруженного фургона понижается, а затем поддерживается при средней наружной температуре
Класс В	RRB	0,35			То же, температура в кузове -10°С
Класс С	RRC	0,35			То же, температура в кузове -20°С
<b>Фургоны-рефрижераторы</b>					
Класс А	FNA	0,60	Кузов изолирован и оборудован холодильной установкой (компрессорной, абсорбционной и т.п.)	Перевозка глубокомороженных продуктов на дальние расстояния	Температура внутри незагруженного фургона понижается, а затем поддерживается в течение 12 ч при наружной температуре +30°С в пределах +12-0°С включительно
Класс В	FRB	0,35	Кузов изолирован и оборудован холодильной установкой (компрессорной, абсорбционной и т.п.)	Перевозка глубокомороженных продуктов на дальние расстояния	Температура внутри незагруженного фургона понижается, а затем поддерживается в течение 12 ч при наружной температуре +30°С в пределах +12 до -10°С включительно
Класс С	FRC	0,35			Температура внутри незагруженного фургона понижается, а затем поддерживается в течение 12 ч при наружной температуре +30°С в пределах +12 до -20°С включительно
<b>Отапливаемые фургоны</b>					
Класс А	CAN	0,60	Кузов изолирован и имеет отопительную установку	Перевозка грузов, требующих подогрева	Температура внутри незагруженного кузова поднимается а затем поддерживается, в течение 12 ч не ниже +12 при наружной температуре -10°С
Класс В	CRB	0,35			То же, при наружной температуре -20°С

Зеротор – специальный сосуд из стали или алюминиевых сплавов с раствором, который предварительно замораживают в специальных холодильных установках, а затем помещают внутри кузова рефрижератора, где он постепенно оттаивает с поглощением тепла (т.е. охлаждением кузова). Удобство этого способа состоит в возможности неоднократного использования зероторов. Недостаток – невозможность регулировки температуры в кузове. Продолжительность действия зероторов составляет 12-15 ч. Эффективность их действия сохраняется до оттаивания 75% смеси.

В холодоаккумуляторах раствор замораживается за счёт циркуляции в змеевиках хладоносителя при подключении змеевика к стационарной либо передвижной зарядной станции или к смонтированной на автомобиле компрессорной установке с приводом от электродвигателя, подключающегося к внешней электрической сети во время стоянки.

Исследования [8] показали, что при нормальной работе холодильной установки через каждые 4 часа с момента окончания погрузки температура в кузове рефрижератора снижается на 1,6-2°С. Одной заправки

источника холода должно быть достаточно, чтобы обеспечить поддержание температуры в кузове, по крайней мере, в течение 12 часов.

Преимущества холодильных установок состоят в более точном и продолжительном обеспечении температуры внутри кузова автомобиля, а также отсутствии необходимости в подготовительных работах перед выездом автомобиля. Однако использование холодильных установок значительно повышает расход топлива подвижным составом, что делает себестоимость такой перевозки выше, чем при использовании холодоаккумуляторов.

При изучении теплофизических свойств ФПХАМ были разработаны специальные методы исследования. Это так называемый циклический термический анализ (ЦТА) и совмещенный метод ЦТА и ДТА. С помощью данного метода удалось решить одну из основных проблем ФПХАМ, а именно значительно уменьшить их склонность к переохлаждениям и взрывным кристаллизациям. Практически для всех кристаллогидратов было установлено резкое уменьшение переохлаждения в случае, если жидкая фаза прогревалась до некоторой критической величины. Таким образом, были обнаружены «критические» границы перегрева жидкой фазы  $\Delta T_k +$  относительно температуры плавления, разграничивающие последующие процессы кристаллизации от взрывной (после ощутимых переохлаждений) к квазиравновесной с незначительным переохлаждением.

При термоциклировании проявляется еще одна особенность фазопереходного вещества, «работающего» в установленном режиме, — устойчивость равновесных фазовых переходов в результате многократного термоциклирования.

Для эффективной работы холодоаккумулирующих установок достаточно широко используются кристаллогидраты неорганических солей и их смеси [9-11]. Однако подборка смесей зачастую носит интуитивный и случайный характер без научного обоснования. В подборе оптимального состава, состоящего из нескольких кристаллогидратов, немаловажную роль играет анализ диаграмм растворимости двух или более безводных солей либо соответствующих им кристаллогидратов в воде.

Очень важным заданием в процессе поиска и разработки ФПХАМ является исследование кинетических и термодинамических закономерностей кристаллизации и плавления в двух и более компонентных системах. Исследования обобщаются и систематизируются компактным образом в виде диаграмм состояния в координатах температура  $T$  — состав  $C$  (рис. 2). Диаграмма состояния позволяет определить параметры смеси, которые наиболее подходят по тепловым свойствам к требованиям, предъявляемым к ФПХАМ: состав, температуру плавления, степень переохлаждения, энтальпии плавления и кристаллизации, а также их стойкость к многочисленному термоциклированию.

Т.е. разброс и расхождение данных различных авторов по фазообразованию кристаллогидратов связаны с тем, что в этих работах отсутствуют систематические

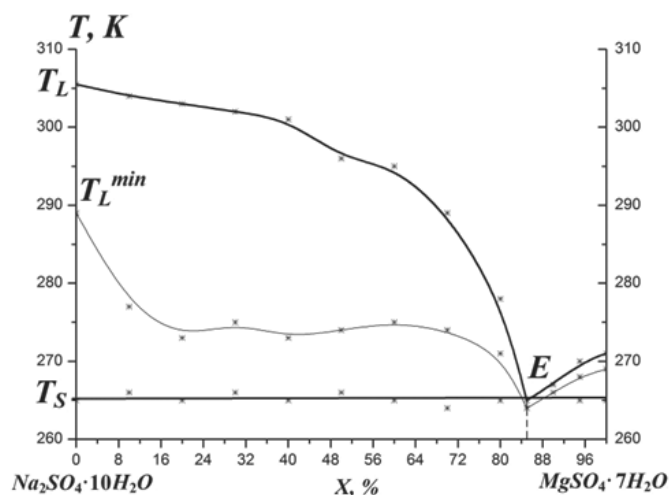


Рис. 2. Диаграмма состояния системы кристаллогидратов  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O - MgSO_4 \cdot 7H_2O$

исследования влияния перегрева и других факторов на переохлаждение в широком диапазоне температур на одном и том же образце. Разные условия эксперимента, произвольно взятые перегревы, скорости кристаллизации, времена перекристаллизации, неконтролируемая предыстория, разрозненные примеси и т.д. не позволяют использовать имеющиеся сведения для удовлетворительного представления о механизмах и кинетике кристаллизации данных веществ.

Таким образом, очевидно, что кристаллогидраты солей вообще и солей натрия в частности весьма активно используются для создания ФПХАМ. Однако многочисленные проблемы, связанные с изменением характеристик кристаллогидратов при длительной эксплуатации заставляют либо искать различные добавки, либо создавать сложные системы кристаллогидратов для уменьшения негативных эффектов и получения заданных рабочих диапазонов. На фоне очевидных недостатков самостоятельных кристаллогидратов их эвтектические смеси выгодно отличаются низкими значениями переохлаждений и высокой устойчивостью к длительному термоциклированию. Более того, меняя компоненты эвтектических смесей, можно варьировать рабочую температуру в очень широком диапазоне. Разумеется, энтальпия плавления менее варьировуема и зависит не только от парциальных энтальпий смеси. И хотя энтальпия эвтектики всегда меньше энтальпий каждого из компонентов, она всегда значительна, а вкупе с низкой переохлаждаемостью и высокой стабильностью является оптимальным выбором для создания ФПХАМ.

На основании исследований некоторых бинарных систем кристаллогидратов солей натрия удалось получить составы, которые можно использовать в качестве аккумуляторов холода. Наиболее низкие температуры фазового перехода и наименьшие переохлаждения продемонстрировали эвтектические смеси кристаллогидратов (табл. 2).

Такие смеси весьма устойчивы к длительному термоциклированию, что делает их хорошим выбором для построения пассивных аккумуляторов холода.

Таблица 2.

Теплофизические характеристики некоторых эвтектических составов ФПХАМ

№	Эвтектика	Тэ, °С	ΔТ, °С	ΔН <sub>1</sub> , кДж/кг
1	52,2% H <sub>2</sub> O+ 47,8% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	-15,0	1-2	273
2	90% H <sub>2</sub> O+ 10% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	-1,2	2	328
3	60% H <sub>2</sub> O+ 40% Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-5,0	1	270
4	60% H <sub>2</sub> O+ 40% Na(CH <sub>3</sub> COO)·3H <sub>2</sub> O	-18,0	1	310
5	78% H <sub>2</sub> O+ 22% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	-3,0	1	315
6	40% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O+ 60%Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	-15	1-2	223
7	50% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O+ 50%Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-8,0	0	215
8	45% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O+ 55% Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O	-17,0	2	193
9	47%Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O+ 53%Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	-1,0	2	251
10	50%Na(CH <sub>3</sub> COO)·3H <sub>2</sub> O+50%Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	19	1	256
11	50%Na(CH <sub>3</sub> COO)·3H <sub>2</sub> O+50%Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	19	1	261

### ВЫВОД

Согласно обзору литературы и на основании проведенных исследований, для аккумуляции холода, необходимого для транспортировки скоропортящихся продуктов, хорошим выбором являются кристаллогидраты солей натрия с добавками, предотвращающими или снижающими предкристаллизационные переохлаждения. Применение многокомпонентных систем обеспечивает определенное преимущество перед однокомпонентными ФПХАМ. Это в первую очередь, возможность выбора рабочей температуры аккумулятора холода и количества запасаемой тепловой энергии, а также высокая стабильность при длительном термоциклировании.

То., для создания надежных ФПХАМ необходим научный подход к построению и анализу равновесных и неравновесных диаграмм состояния, а также к изучению термодинамики и кинетики фазовых превращений как индивидуальных веществ, так и их смесей.

### Список литературы

- Захаров Н.С. Методика формирования парка грузовых автомобилей автотранспортного предприятия в зависимости от назначения и технико-эксплуатационных показателей транспортных средств / Н.С. Захаров, В.А. Ракитин // Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т. 37, вып. 3. – С. 174-188.
- Майборода М.Е. Грузовые автомобильные перевозки: учебное пособие / М.Е Майборода, В.В. Беднарский. – Изд. 2-е. – Ростов на Дону: Феникс, 2008. – 442 с.
- Правила доставки скоропортящихся грузов автомобильным транспортом (ст. 35, 66, 67, 72 Устава автомобильного транспорта РСФСР) Утверждены Минавто-трансом РСФСР 25.10.74 по согласованию с Госпланом РСФСР и Госарбитражем РСФСР.
- Ханин Д. М. Технология мелкоконтейнерной доставки скоропортящихся грузов: диссертация ... кандидата технических наук / Ханин Дмитрий Михайлович [Место защиты Волгоградский гос. тех. университет] – Волгоград, 2017, 182 с.
- Еськова И. А. Система управления параметрами перевозок скоропортящихся продуктов в условиях мегаполиса / И. А. Еськова // Логистика. – 2012. – № 6. – С. 16-18.
- Организация транспортных услуг и безопасность транспортного процесса: учеб.-метод. пособие / сост.: Е.Р. Нургалеев, М.С. Турпищева; Касп. инст. мор. и речн. тр. филиал ФГОУ ВПО «ВГАВТ». – Астрахань, 2013. – 136 с.
- Постановление Правительства РФ от 15.04.2011 г. N 272 «Об утверждении Правил доставки грузов автомобильным транспортом». Приказ Минтранса РФ от 27.04.2002 г. № 56 «Об организации контроля и освидетельствования специальных транспортных средств, предназначенных для международных доставок скоропортящихся пищевых продуктов, на соответствие требованиям «Соглашения о международных доставках скоропортящихся пищевых продуктов и о специальных транспортных средствах, предназначенных для этих доставок».
- Сидоров С.А. Приспособленность автомобилей-рефрижераторов к перевозке скоропортящихся грузов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.22.10 / Сидоров Сергей Александрович; [Место защиты: Тюмен. гос. нефтегаз. ун-т]. – Тюмень, 2011. - 145 с.
- Александров В.Д., Соболев О.В., Савенков Н.В. Исследование предкристаллизационных переохлаждений в системе вода – пентагидрат тиосульфата натрия [Текст] / В.Д. Александров, О.В. Соболев, Н.В. Савенков // Физика и химия твердого тела, Ивано-Франковск. 2007. – Т.8. – С. 771-775.
- Александров В.Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред [Текст] / В.Д. Александров. Издательство «Донбасс». Донецк. 2011. – Т. I, 590 с.
- Александров В.Д. и др. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных жидкостей и аморфных сред Ч.2. [Текст] / В.Д. Александров и др. Издательство «Донбасс». Донецк. 2018. – Т. 2, 480 с.