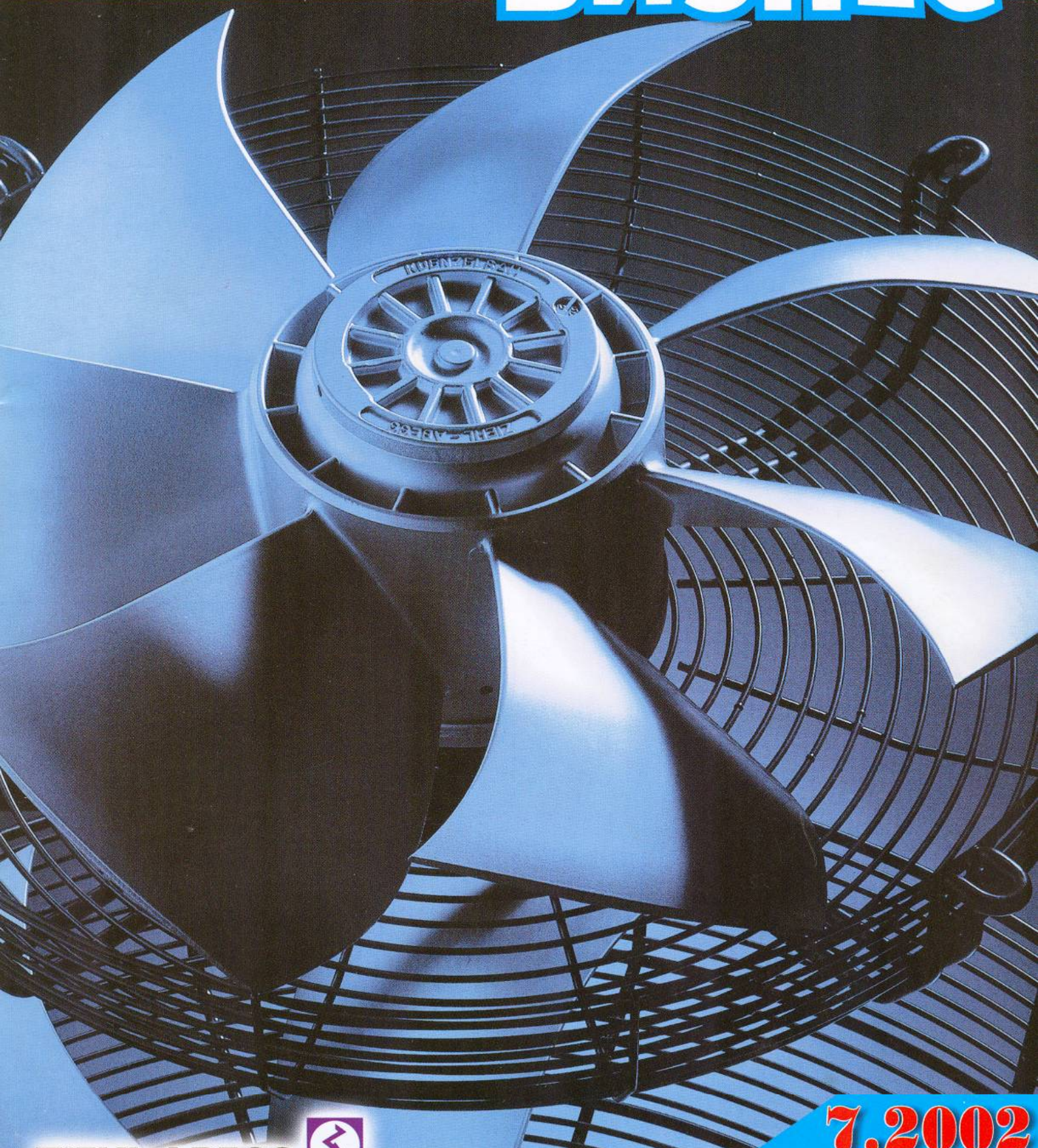




Refrigeration Business

# ХОЛОДИЛЬНЫЙ БИЗНЕС



**ZIEHL-ABEGG**



**7.2002**

Представительство в Москве:

тел./факс: (095) 232-2353; тел.: (095) 232-2355, 101-5953 <http://www.ziehl-abegg.ru>

## От редакции:

Все-таки сколько бы ни вышло журналов, перед тем, как распечатать пачку со свежим тиражом, обязательно волнуешься. Даже если знаешь очередной номер почти наизусть. Даже если знаешь, что на четвертой полосе — ошибка в согласовании, которую не успели устранить до вывода пленок. Но ведь и у любимого человека бывают какие-то недостатки, не так ли?

С чем же (кроме опечаток) Вы, читатель, встретитесь в октябрьском номере? Центральное место занимает, безусловно, статья болгарских и российских авторов, посвященная хладоносителю, у которого почти столько же названий, сколько фирм его использует: это и «текучий лед», и «бинарный», и «двухфазный», и «жидкий»! И даже «ледяная каша» — *ice slurry*. Конечно, можно было бы, строгости ради, именовать его мелкодисперсной ледяной суспензией, но для этого не хватит никаких печатных площадей, тем более, что проблема использования вышеозначенной МЛС имеет перспективу, многообразна и просто интересна. Поэтому мы решили:

1. Для краткости, определенности и обеспечения исторической преемственности по согласованию с авторами воспользоваться вместо начавшего уже просачиваться в русский профессиональный слэнг англосаксонского термина «айс сларри», исконно российским названием «шуга», тем более, что в нашей ракетно-космической программе оно некогда было общеупотребительно.

2. Особенно не ограничивать авторов по объему и напечатать материал почти без сокращений и в одном номере сразу. Нам кажется, что он того стоит.

Разумеется, в номере есть продолжение предыдущих публикаций, и выставочные новости и «вести с мест». Кстати, о выставках. В следующем, ноябрьском выпуске, мы расскажем о двух крупных событиях, традиционно приковывающих внимание холодильной общественности: московской выставке «Агропродмаш» и нюрнбергской выставке-ярмарке ИКК. Так что до скорой встречи.

## В ЭТОМ НОМЕРЕ



**стр. 4**

# Мелкокристаллические ледяные суспензии как основа передовых промышленных технологий: состояние и перспективы

■ Костадин ФИКИИН, Никола КАЛОЯНОВ, Софийский технический университет, кафедра тепловой и холодильной техники,  
■ Татьяна ФИЛАТОВА, Владимир СОКОЛОВ, Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, кафедра общей и холодильной технологии пищевых продуктов

Настоящий обзор рассматривает современное состояние промышленных технологий, использующих перекачиваемые ледяные суспензии. Представлены основные методы и технические средства получения мелкокристаллических суспензий. Уделено специальное внимание системам накопления, хранения и распределения суспензии потребителям холода и отмечены основные сферы их применения в разных отраслях промышленности. Перечислены некоторые основные компании-производители генераторов мелкокристаллического льда и сопутствующего оборудования. Обсуждаются перспективы развития этого направления.

## Введение

Мелкокристаллические ледяные суспензии являются смесью кристаллов льда, чаще всего диаметром 0,01–0,2 мм, воды и антифризов [6, 12]. Такие суспензии известны под различными наименованиями ice slurry, FLO-ICE, Liquid-ICE, Binary ICE, Fluid-ICE, Pumpable-ICE и т. д. Большой частью, эти термины означают «жидкий, текущий или перекачиваемый лед». По мнению авторов, распространенный термин «binary ice» («бинарный лед») неоднозначен, поскольку может пониматься не только как двухфазный раствор, но и как двухкомпонентное вещество. В дальнейшем мы будем пользоваться русским термином «шуга», по смыслу аналогичным английскому ice-slurry («ледяная каша») и хорошо известным криогеникам, особенно тем, кто был связан с космическими программами. Эти двухфазные системы ведут себя подобно жидкостям, их можно перекачивать по трубам (рис. 1 и 2), но в отличие от однофазных хладоносителей эффективная

теплоемкость шуги гораздо выше вследствие использования теплоты фазового перехода кристаллов льда.

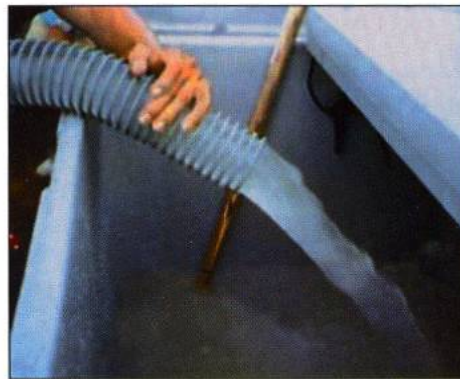


Рис. 2. Перекачивание ледяной суспензии по трубопроводам.

Поэтому можно уменьшить почти вдвое размеры теплообменников и диаметры трубопроводов без потери холодопроизводительности, что значительно снижает капитальные затраты. Для ледяных суспензий характерна чрезвычайно интенсивная теплоотдача, сравнимая с теплоотдачей при кипении холодильных агентов, а также большая скорость погружного охлаждения или замораживания пищевых продуктов [4, 5].

Как было отмечено при открытии Первого совещания Международного института холода по шуге, способ искусственного получения мелкокристаллической ледяной суспензии был впервые изобретен в России [3].



Рис. 1. Аккумуляция холода с помощью шуги

## Методы получения микрокристаллических ледяных суспензий и генераторы шуги

В промышленном производстве шуги основную роль играют генераторы мелкокристаллического льда, основные типы которых мы рассмотрим.

**Генераторы с двигающимися скребками.** На рис. 3 показан генератор с вращающимися приспособлениями для снятия намораживаемого льда с цилиндрической поверхности. Конструктивно он близок к фризере для производства мороженого и состоит из двух concentric cylinders, между которыми кипит хладагент, и скребков, снимающих образующийся тонкий ледяной слой. Одним из недостатков такого типа льдогенераторов является дополнительный расход энергии на привод движущихся частей. Другой недостаток — сравнительно высокая цена. Однако весьма существенное преимущество этих генераторов состоит в высокой надежности независимо от содержания антифриза в шуге [7].

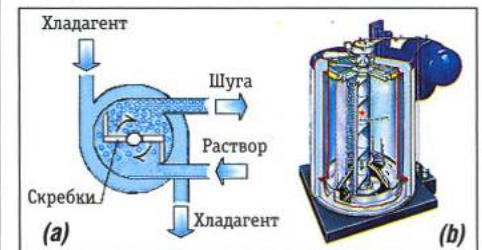


Рис. 3. Генератор скребкового типа: а — принцип действия и в — внутреннее устройство.

**Генераторы, использующие переохлаждение раствора.** Конструкция другого перспективного агрегата изображена на рис. 4. Его принцип основан на кипении хладагента снаружи трубок кожухотрубного теплообменника. Раствор, медленнодвигающийся внутри труб, переохлаждается на несколько градусов ниже криоскопической температуры. На выходе из аппарата поток турбулизируется специальным устройством с образованием кристаллов. Содержание льда

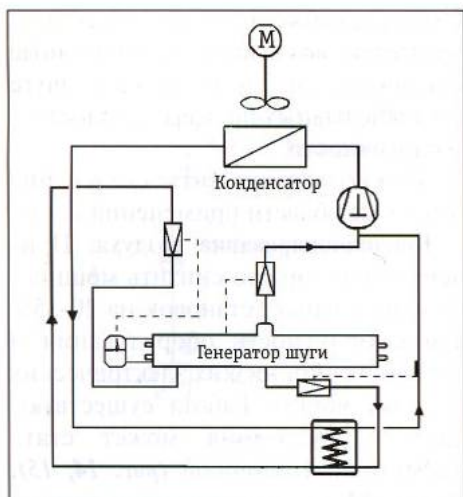


Рис 4. Генератор шуги без механически движущихся частей

повышается на 1,25 % при снижении на 1 °С температуры выходящей переохлажденной жидкости [6].

**Генераторы, применяющие непосредственный контакт хладагента с раствором [2].** Такой генератор показан на рис. 5. Ледяная суспензия образуется посредством пропускания кипящего хладагента сквозь раствор, который охлаждается и образует мелкие кристаллы. Преимуществом этого типа генератора является отличное качество образующихся кристаллов, но в то же время система пожароопасна [6].

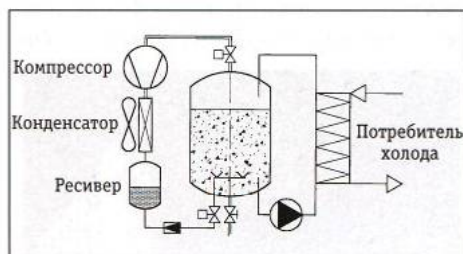


Рис 5. Генератор с непосредственным кипением хладагента в растворе

**Вакуумные генераторы.** Этот принцип получения шуги основан на использовании воды в качестве хладагента. Схематическое изображение такого цикла приведено на рис. 6. Вода из солевого раствора, находящаяся вблизи своей тройной точки,

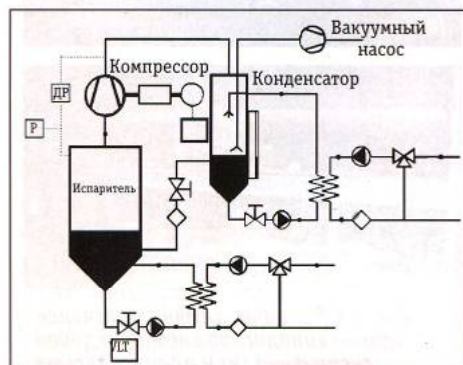


Рис 6. Вакуумный генератор шуги

испаряется специально создаваемым вакуумом и вследствие охлаждения частично кристаллизуется, т. е. образуется так называемый вакуумный лед [6].

**Флюидизационные генераторы.**

Они используют вертикальный кожухотрубный теплообменник (рис. 7).

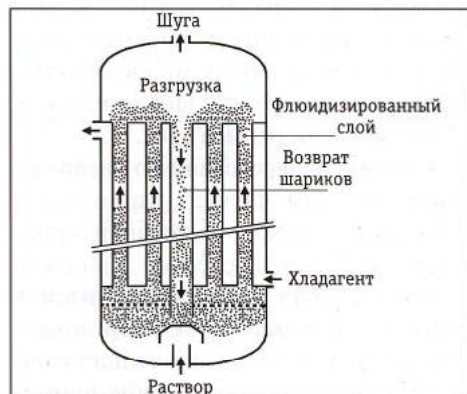


Рис 7. Флюидизационный генератор шуги

В кожухе кипит хладагент, а раствор подается в распыленном виде снизу внутри трубок, где, соприкасаясь с холодными стенками, начинает замерзать. Вместе с тем, в трубах находятся стальные или ударопрочные стеклянные шарики диаметром 4 мм, которые при скоростях раствора  $\geq 0,2$  м/с переходят в псевдооживленное состояние. Флюидизированный слой предотвращает намораживание толстого льда и обеспечивает проходимость труб. Лед постоянно скалывается шариками со стенок и выходит через верхнюю часть аппарата. Высота теплообменника может достигать 10 м, при диаметре трубок 70–100 мм [8].

**Накопление, хранение и снабжение потребителей ледяной суспензией**

Основные типы систем накопления ледяной суспензии можно систематизировать следующим образом.

**Децентрализованная система накопления.** Суспензия льда, полученная в одном центральном генераторе, распределяется по различным накопительным сосудам (аккумуляторам холода), находящимся вблизи потребителей (рис. 8).

Локальные емкости хранения льда действуют подобно буферным сосудам между системой генерации и потребителями холода. Такое распределение по емкостям покрывает прежде всего среднюю тепловую нагрузку у каждого потребителя, нежели пиковые нагрузки.

**Централизованная система.** Высокопроизводительные охлаждающие системы могут требовать установки

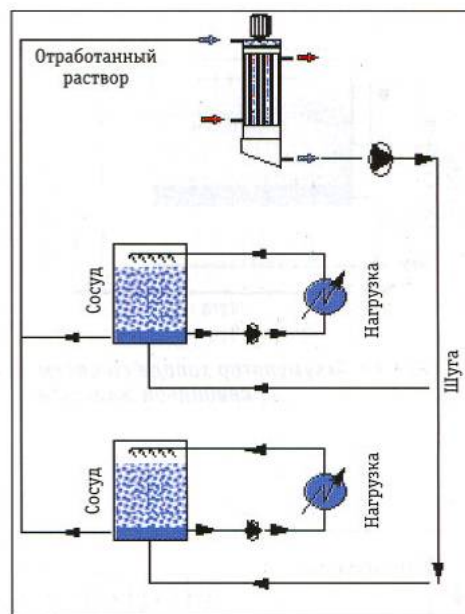


Рис 8. Децентрализованная система аккумуляции

центрального аккумулятора, как показано на рис. 9. Ледяная суспензия может храниться в аккумуляторе и использоваться только для охлаждения воды, циркулирующей в системе распределения. Однако для снабжения потребителей холодом в часы пиковой нагрузки лучше использовать прямо шугу.



Рис 9. Централизованная система аккумуляции холода при помощи шуги

**Аккумулятор льда со слоем свободной жидкости.**

Он представляет собой большой сосуд, находящийся при атмосферном давлении и заполненный приблизительно на 80% жидкостью. Когда шуга поступает в емкость, кристаллы льда всплывают на поверхность и лед постепенно заполняет пространство от верха до дна (рис. 10). Существуют верхняя и нижняя подачи суспензии в емкость, преимущества и недостатки которой рассмотрены в работе [10].

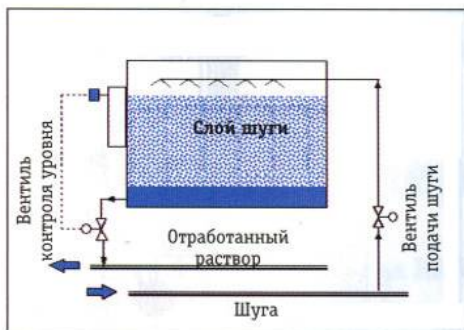


Рис 10. Аккумулятор холода со слоем шуги свободной жидкости

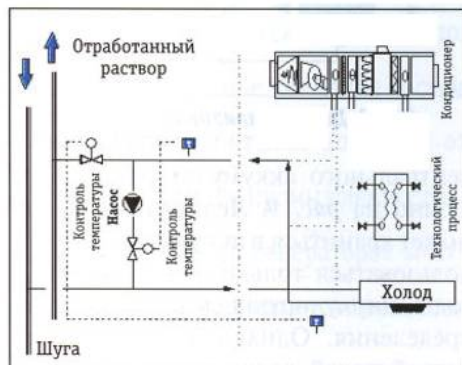


Рис 11. Система непосредственного распределения

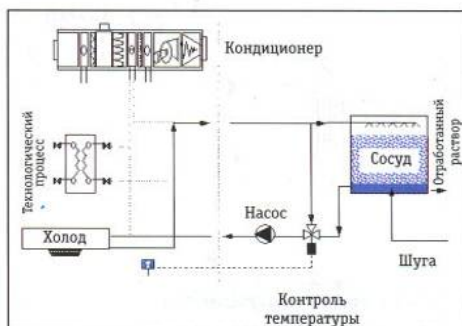


Рис 12. Система опосредованного распределения

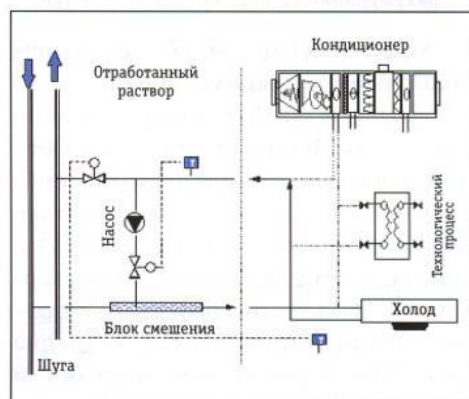


Рис 13. Система с блоком смешения

Рассмотрим теперь несколько типичных систем холодоснабжения при помощи шуги.

**Система непосредственного распределения.** Шуга через трубопроводную сеть подается непосредственно потребителям холода (рис. 11). Эксперименты с различными типами оборудования показали, что риск образования ледяных пробок в системе довольно мал, а эффективность теплопередачи велика [10].

**Система опосредованного распределения.** В этом случае используется локальная емкость, в которой кристаллы льда отделяются от жидкости и эта «ледяная вода» подводится к потребителям (рис. 12). Опосредованное распределение является достаточно простым способом, чтобы применять ледяную суспензию, не прибегая к существенным изменениям имеющегося оборудования [10].

**Система с применением блока смешения.** Эта конструкция тоже облегчает использование ледяной суспензии с наличным оборудованием, не требуя установки локальных емкостей для накопления шуги [10]. Нагретый отработанный раствор смешивается в специальном сосуде с входящей ледяной суспензией до полного расплавления ледяных кристаллов (рис. 13). Потребителям подается однофазная жидкость с регулируемым расходом и температурой.

### Области применения ледяных суспензий как вторичных хладоносителей

Мелкокристаллические ледяные суспензии представляют собой отличный экологически чистый вторичный хладоноситель — надежная альтернатива хлорфторуглеродным, гидрохлорфторуглеродным и гидрофторуглеродным хладагентам, разрушающим озоновый слой и/или вызывающим парниковый эффект. Хотя в последнее время все больше распространения находят так называемые естественные хладагенты (природные газы, углекислота, воздух, вода и т. д.), их применение все еще связано со значительными проблемами (воспламеняемость, термодинамическое несовершенство и низкий холодильный коэффициент, значительные капитальные и эксплуатационные затраты и т. д.).

Очевидно, что «химические» или «природные» хладагенты желательно ограничить в маленьком замкнутом контуре холодильной машины,

а холодоснабжение отдаленных потребителей возложить на вторичные хладоносители, среди которых шуга нет ныне равных по эффективности и экологичности.

Можно перечислить следующие типичные области применения шуги.

**Кондиционирование воздуха.** Применяя шугу, можно снизить мощности холодильных установок на 20-35% при компактности оборудования и использовании низких электрических тарифов ночью. Работа существующего оборудования может стать эффективной и гибкой (рис. 14, 15). На рис. 14 показано высотное здание, где установка фирмы Paul Mueller, США, генерирует 4000 тонн ледяной суспензии в сутки для холодоснабжения 10-этажного торгового центра и 39-этажной административной башни. Каждый агрегат для получения шуги состоит из 4 льдогенераторов и производит 500 тонн суспензии в сутки, а вся установка включает 8 таких 500-тонных агрегатов и 32 льдогенератора [9].

**Торговое холодильное оборудование в супер- и гипермаркетах.** Как хорошо известно, холодильная система больших магазинов может работать по принципу охлаждения вторичным хладоносителем, что позволяет существенно снизить количество потребляемого хладагента (рис. 16).



Рис 14. Большое административное здание холодоснабжаемое ледяной суспензией (а) и один из восьми 500-тонных генератор шуги (б)

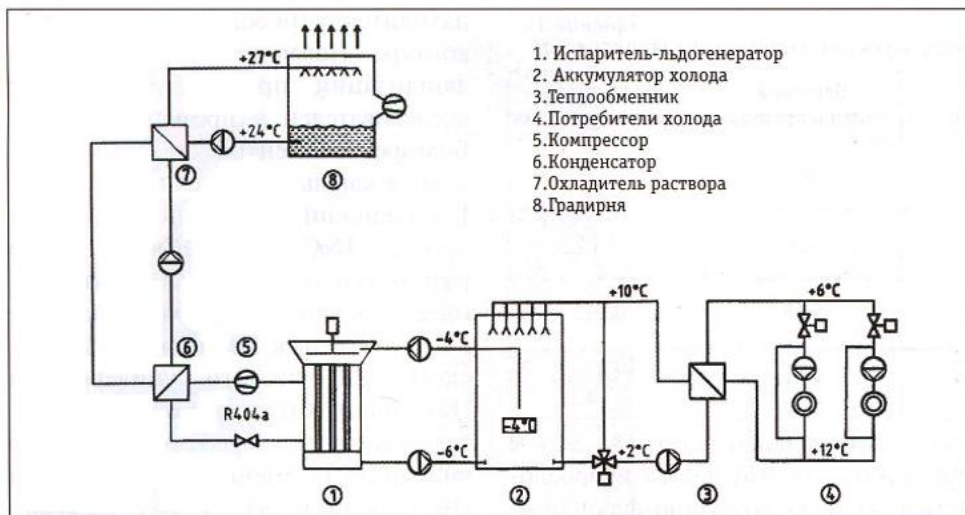


Рис. 15. Кондиционирование воздуха в большом офисном здании

Однако такие системы имеют некоторые недостатки по сравнению с циклом прямого испарения — капитальные вложения велики, а потребление энергии значительно из-за необходимости перекачивать более вязкое рабочее вещество и поддерживать более низкие температуры испарения хладагента, что ведет и к более низким холодильным коэффициентам установки. Некоторые модификации многоконтурной системы (рис. 16,а) позволяют достичь температуры испарения около  $-35^{\circ}\text{C}$ , необходимой для глубокого замораживания продуктов с использованием вторичного хладагента (водный раствор солей, гликоля, этанола и т. д.) для охлаждения конденсатора дополнительного низкотемпературного цикла, что напоминает работу каскадной холодильной машины. Рис. 16,б показывает систему косвенного охлаждения с использованием ледяной суспензии как хладагента [11]. Она состоит из трех контуров: первичного, вторичного и дополнительного контура глубокого замораживания. Первичный контур обеспечивает холод для производства шуги (смесь воды, этанола и дополнительных компонентов). Когда температура смеси достигает  $-3,8^{\circ}\text{C}$ , на поверхности испарителя намораживаются ледяные кристаллы, которые механически удаляются скребками льдогенератора, и затем полученная шуга сохраняется в хорошо изолированном буферном сосуде. Отсюда суспензия льда распределяется для охлаждения промышленных помещений, холодильных камер, витрин и прилавков, а также конденсаторов контура глубокого замораживания. В ночной период, из-за меньшего потребления холода, буферный сосуд загружается шугой с высоким содержанием льда.

Накопленный холод можно затем постепенно расходовать в течение дня. Таким образом, компрессоры первичного контура можно подобрать исходя из среднесуточной, а не максимальной тепловой нагрузки. Ночная аккумуляция холода с помощью суспензий льда целесообразна, так как, наряду с дешевыми тарифами на электроэнергию, холодильная установка работает в условиях пониженных температур окружающей среды. В супермаркетах обычно используют шугу на основе водно-спиртовых растворов, что гораздо безопаснее для окружающей среды в случае утечки, чем обычные хладагенты или хладагители, состоящие из гликолей или рассолов.

Благодаря теплоте фазового перехода и высокому энергетическому потенциалу ледяной суспензии, для одной и той же тепловой нагрузки требуется меньшее количество двухфазного рабочего вещества, чем однофазного вторичного хладагителя. Кроме того, при  $-8^{\circ}\text{C}$  вязкость

водноспиртовой шуги ниже вязкости многих популярных рассолов и растворов гликоля [11]. По этим причинам расходы на перекачивание и циркуляцию хладагента значительно снижаются. Эффективный теплообмен ведет к меньшим температурным перепадам в теплообменниках, что позволяет повысить температуру испарения хладагента, а, следовательно, и холодильный коэффициент первичного контура.

Фирма Fri-Jado (Нидерланды) разработала имитационную модель, чтобы оценить энергосбережение установки на шуге по сравнению с системами прямого испарения и косвенного охлаждения обычными хладагителями. Модель учитывает и гидравлические потери, и подогрев в насосах. В табл. 1 приводится сравнение установок с холодопроизводительностью первичного контура 37,7 кВт плюс 2,4 кВт контура хранения глубокозамороженных продуктов (рис. 16). Контур ледяной суспензии расходует 26,5 кВт на холодоснабжение торгового оборудования, в то время как 11,2 кВт накапливаются в буферном сосуде.

На рис. 17 показана схема холодильной установки магазина мясных продуктов в г. Мол, Бельгия [11], торговое оборудование которого (промышленные помещения и камеры хранения мяса и полуфабрикатов) с 1995 г. снабжается холодом с помощью ледяной суспензии.

В камерах, шкафах и витринах с низкими положительными температурами (рис. 18) обычно применяется ледяная суспензия при температуре около  $-4^{\circ}\text{C}$ , что позволяет избежать остановок холодильного

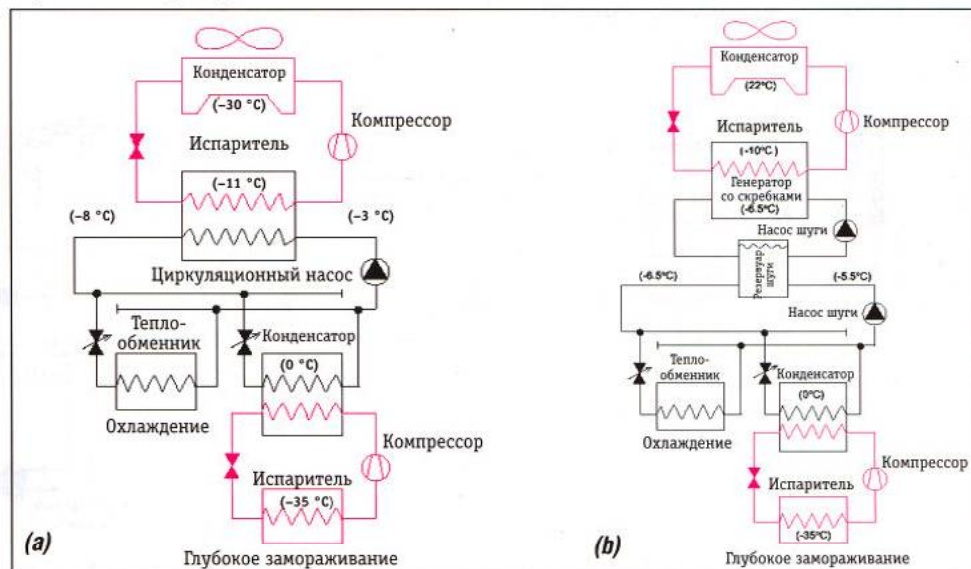


Рис. 16. Многоконтурные системы охлаждения с помощью однофазного вторичного хладагителя (а) и ледяной суспензии (б)

**Таблица 1.**  
**Энергосбережение с использованием шуги как вторичного хладоносителя**

	Прямое испарение	Обычный хладоноситель	Двухфазная ледяная суспензия
Холодопроизводительность на охлаждение, кВт	37,7	37,7	37,7
Холодопроизводительность на замораживание, кВт	2,4	2,4	2,4
Годовое потребление электроэнергии, кВт • ч	79,6	94,8	66,6
Энергопотребление по сравнению с системой прямого испарения, %	100	119	84

оборудования для удаления инея. Хотя для замороженных продуктов используют шугу при минус 22–30 °С, частоту остановок на оттайку тоже можно значительно снизить [7].

**Погружное охлаждение и замораживание пищевых продуктов.** Все виды плодов и овощей нужно незамедлительно охладить сразу после сбора урожая, чтобы сохранить их качество и натуральные характеристики, и ледяные суспензии являются прекрасной охлаждающей средой для погружения (рис. 19). Холодильная обработка морепродуктов (рыбы, креветок и др.) шугой очень эффективна в сравнении с блочным, колотым и чешуйчатым льдом, так как отсутствуют воздушные прослойки на поверхности продукта, который к тому же не травмируется благодаря мягкой консистенции шуги. Кроме того, морская вода — естественный соляной раствор для производства шуги на борту рыболовных судов (рис. 20).

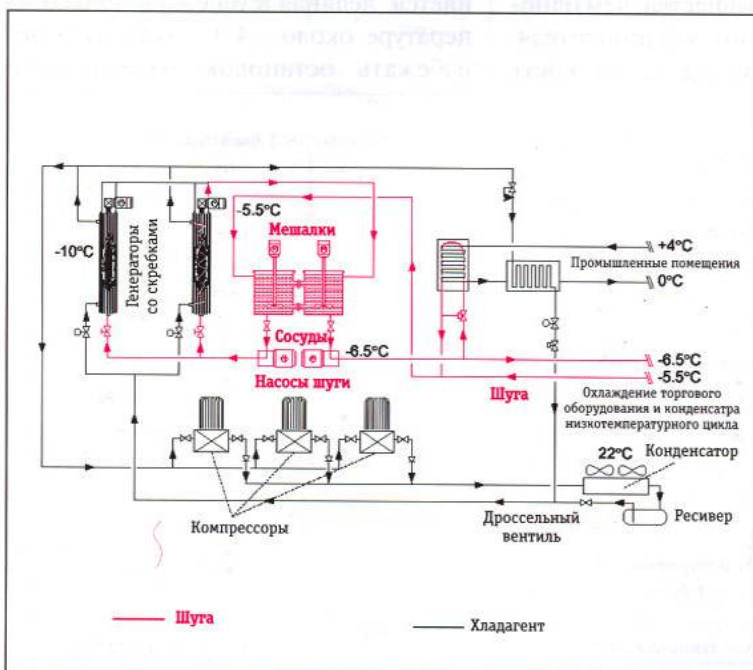
К. А. Фикийн и А. Г. Фикийн недавно предложили и запатентовали

метод гидрофлюидизации [4], чтобы объединить преимущества и преодолеть недостатки воздушно-флюидизационного и погружного способов замораживания пищевых продуктов. Можно выделить два основных инновационных аспекта нового метода: применение незамерзающих жидкостей в качестве флюидизационных агентов и использование перекачиваемых ледяных суспензий как флюидизационной среды. Этот принцип замораживания обеспечивает чрезвычайно интенсивную теплопередачу, короткое время замораживания, высокую производительность и лучшее качество конечного продукта при температурах охлаждающей среды, поддерживаемых одноступенчатой холодильной машиной. В результате капитальные и эксплуатационные затраты снижаются по сравнению с популярными методами индивидуального быстрого замораживания почти вдвое [4]. Более того, такие системы гидрофлюидизационного замораживания менее опасны для окружающей среды, так как хладагент

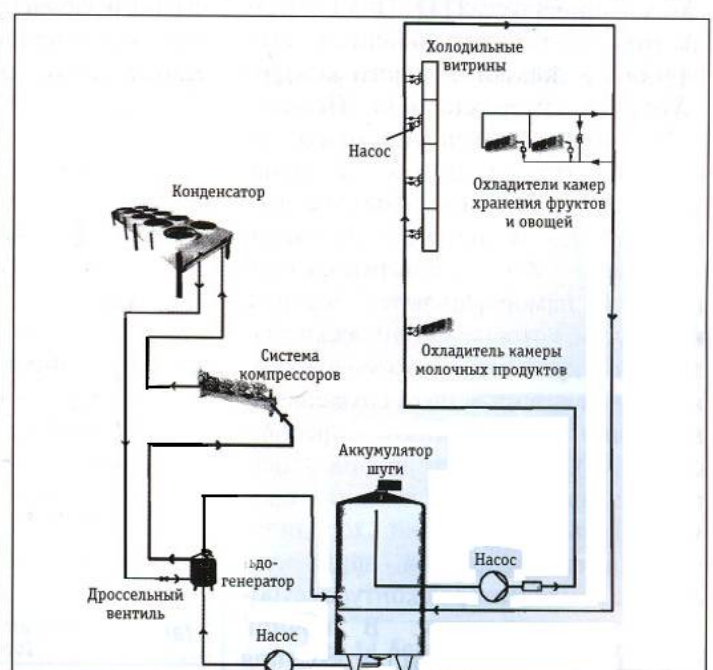
находится в небольшом замкнутом контуре. Новая технология гидрофлюидизации привлекла внимание исследователей и промышленников. Болгарское патентное агентство отметило ее как выдающееся изобретение. Европейский союз поддерживает проект INCO-COPERNICUS для разработки этого метода международным консорциумом, охватывающим исследовательские группы из Софийского технического университета (Болгария), Католического университета Левена (Бельгия), Абердинского университета имени Роберта Гордона (Великобритания), Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (Россия), Environmental Process Systems Ltd. (Великобритания) и МСК «Интеробмен» КД, Болгария [4, 5].

**Быстрое охлаждение жидкостей.** При необходимости быстро охладить значительные объемы молока, соков, масел и т. п. применение ледяных суспензий тоже оказывается чрезвычайно выгодным вследствие их превосходных термодинамических свойств и энергетического потенциала, которые обеспечивают большую производительность установок.

**Криоконцентрация растворов и опреснение воды.** Пропуская раствор через льдогенератор, можно отделить от воды растворенные вещества. При удалении образовавшихся кристаллов льда раствор концентрируется, а при таянии последних получается чистая вода. Этот метод можно использовать для



**Рис. 17.** Система охлаждения торгового оборудования на шуге



**Рис. 18.** Система холодоснабжения французского супермаркета при помощи ледяной суспензии (в эксплуатации с 2000г.)

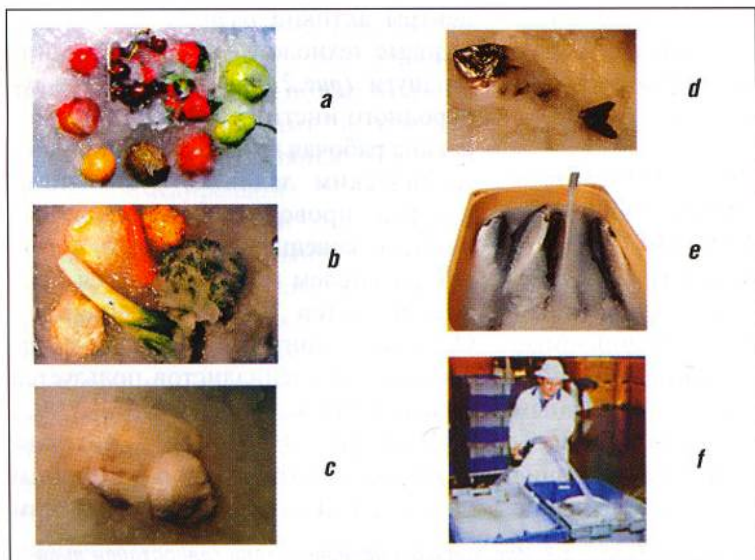


Рис. 19. Пищевые продукты, погруженные в ледяные суспензии с различным содержанием льда: а — фрукты; б — овощи; с — птица; d и e — рыба

криоконцентрации пищевых растворов и напитков (например, молока, соков и пива), опреснения морской воды, разделения воды и масла и т. д. [7].

### Некоторые основные производители генераторов мелкокристаллических суспензий льда и соответствующего оборудования

Разработка и производство современных холодильных установок на основе ледяных суспензий в последнее время является объектом деятельности множества ведущих машиностроительных и холодильных компаний (табл. 2).

Сегодня основная проблема состоит в высоких ценах на оборудование, особенно на генераторы мелкокристаллического льда. Как правило, даже для малых холодопроизводительностей генераторы шуги стоят не менее нескольких десятков тысяч евро, в то время как большие установки обычно требуют инвестиций от нескольких миллионов до нескольких десятков миллионов евро. Одна из причин такой высокой стоимости — недостаточная конкуренция на мировом рынке льдогенераторов. В большинстве случаев нужно договариваться о цене каждого отдельного аппарата нежели использовать заранее подготовленные прайс-листы.

Ниже приводятся краткие сведения об основных фирмах-производителях генераторов шуги вместе с личными впечатлениями авторов относительно их рыночного поведения и отношения к научно-техническим разработкам.

### Фирма Sunwell, Канада

(<http://sunwell.com>). Компания производит широкий ассортимент льдогенераторов наземного и судового базирования под торговой маркой DeepChill™. Президент фирмы — доктор Владимир Голдшайн — запатентовал несколько интересных методов и систем производства мелкокристаллического льда. Цены на продукты данной фирмы — сравнительно приемлемые на фоне эквивалентной продукции других производителей. Sunwell работает в тесном сотрудничестве с исследователями различных университетов, и ее специалисты принимают активное участие в научных конференциях по ледяным суспензиям и их применению.

### Фирма Paul Mueller, США

(<http://muel.com>). Этот производитель выпускает генераторы шуги под маркой MaximICE™, которые получили значительную популярность. На европейском рынке продукты компании распространяются фирмой Integral Energietechnik (в Западной и Центральной Европе) и фирмой Environmental Process Systems (в Великобритании). Эксперты предприятия регулярно отвечают на запросы интересующихся и предоставляют клиентам необходимые технические консультации и содействие.

### Фирма Brontec, Исландия

(<http://www.brontec.is>). Заводы этой компании производят льдогенераторы различной производительности, предназначенные прежде всего для рыбной промышленности (рис. 20). Как правило, компания относится с должным вниманием к запросам внешних специалистов и клиентов. При переговорах с Brontec была пред-

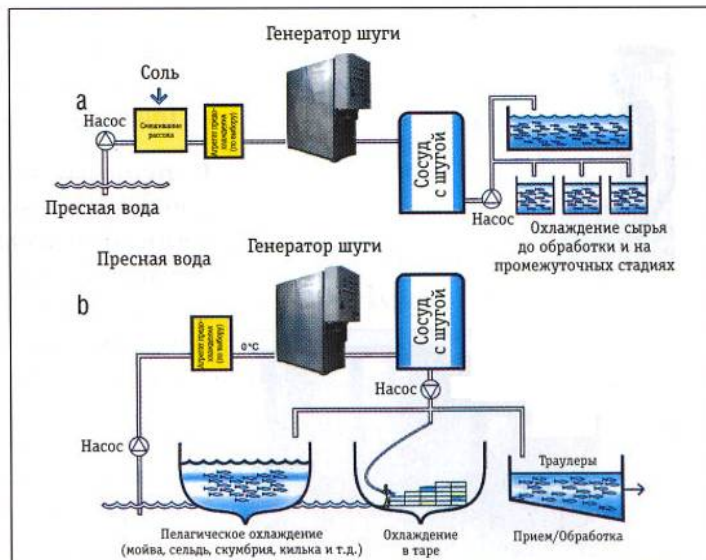


Рис. 20. Охлаждение рыбы в шуге на суше (а) и на борту рыболовных судов (б), с использованием технологии Liquid Ice™

ложена почти одинаковая цена на генераторы с весьма отличающимися между собой производительностями.

### Фирма Star Refrigeration, Великобритания

(<http://www.star-ref.co.uk>). Этой фирмой было сооружено несколько значительных объектов в Великобритании и за рубежом. Предприятием руководят доктор Форбс Пирсон и Эндрю Пирсон. Доктор Пирсон, известный как сторонник применения шуги, выступал по этому поводу на многочисленных совещаниях и конференциях.

### Фирма Crytec, Израиль

(<http://Crytec.Jerusalem-Ni.com>). Эта новая динамичная компания управляется доктором Борисом Мениным, который запатентовал оригинальный метод производства мелкокристаллического льда. Crytec выпускает льдогенераторы серии CR и активно занимается научно-техническими разработками в этой области.

### Фирма Ziegler, Германия

(<http://www.ziegler.com>). Льдогенераторы Ziegler отличаются высокой механической прочностью, что позволяет получать низкотемпературную мелкокристаллическую суспензию даже при малых количествах растворенных веществ и высоком содержании льда.

### Фирма Integral Energietechnik, Германия

(<http://www.energ-ice.com>). Кроме дистрибуции систем Maxim-ICE™ в Европе, фирма Integral производит свои собственные системы типа FLO-ICE и VACUUM-ICE; она соорудила ряд крупных промышленных объектов с установками на шуге. Персонал компании ревностно относится к своей интеллектуальной собственности и ноу-хау. Поэтому с интересующими вопросами, лучше

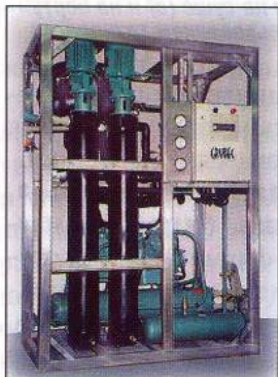




a



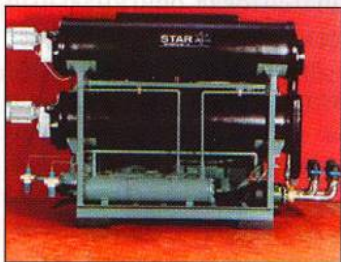
b



c



d



e



f

Рис. 21. Генераторы шуги и теплообменники со скребками разных производителей:  
 а — DeepChill™ IG-6VM (Sunwell, Канада);  
 б — Liquid Ice™ (Brontec, Исландия);  
 в — © Wiped Surface™ Crystalliser (Crytec, Израиль);  
 д — MaximIce™ (Paul Mueller, США);  
 е — Star (Star Refrigeration, Великобритания);  
 ф — Votator II (Waukesha Cherry-Burrell, США)

всего обращаться в местное представительство компании YORK International, частью которой является Integral Energietechnik.

### Перспективы использования шуги в разных областях современной промышленности

Обладая превосходными теплофизическими и энергетическими характеристиками, перекачиваемые ледяные суспензии — в высшей степени удачная альтернатива однофазным вторичным хладоносителям и кипящим хладагентам. Поэтому ведущие академические и исследовательские

центры активно разрабатывают передовые технологии с использованием шуги (рис.21). В рамках Международного института холода сформирована рабочая группа по мелкокристаллическим ледяным суспензиям, которая проводит международные научные совещания два раза в год. Председателем группы является профессор Петер Эгольф (Швейцария). Особым авторитетом среди промышленников и специалистов пользуется инженер Поль Риве из фирмы MCI International (Франция), возглавляющий подгруппу по системам на шуге. В Датском технологическом

Таблица 2. Иностранные производители генераторов льда и/или мелкокристаллической ледяной суспензии.

Компания	Город, страна	E-mail
3X-Steel Ltd	Isafjordur, Iceland	3xstal@snerpa.is
A1- flake Ice Machine	Lynwood, FL, USA	
Arctic-Temp	Longwood, FL, USA	
Berg Chilling	Scarborough, ON, Canada	
Bloc-Gel pouches Clinne	Boulogne sur Mer, France	vincent.letendart@wanadoo.fr
<b>Brunnar / Brontec</b>	<b>Hafnarfjordur, Iceland</b>	brontech@brontech.is
Cretel	Eeklo, Belgium	cretel@unicall.be
<b>Deepchill - Sunwell</b>	<b>Woodbridge, Canada</b>	Inquiries@sunwell.com
<b>EPS</b>	<b>Slough, UK</b>	z.ure@epsLtd.co.uk
Fishing Industry Services	Christchurch, New Zealand	tony@fishindserv.co.nz
<b>FLO-ICE Inham</b>	<b>Dordrecht, Nederland</b>	rb@inham.nl
<b>FROST</b>	<b>Reykjavik, Iceland</b>	Frost@frost.is
Geneglacé Frigofrance	Bouguenais, France	contact@geneglacé.com
Hoshizaki	Willich, Deutschland	
Howe corp.	Chicago, IL, USA	
ICE B.V.	Hazerswoude, Nederland	info@ice-trading.nl
IMEF	Saint Aignan, France	direction@imef.com
Impens Koeltechniek	Ieper, Belgium	filip.van.hulle@village.uu.net.be
<b>Index-West</b>	<b>Santa Ana, CA, USA</b>	Sales@index-west.com
<b>Integral Energietechnik</b>	<b>Flensburg, Deutschland</b>	info@energ-ice.com
<b>Inham Refrigeration</b>	<b>Dordrecht, Nederland</b>	info@inham.nl
Kalling hf.	Reykjavik, Iceland	kalling@isholf.is
KdubbelA	Wijnegem, Belgium	pat.vandenbosch@ping.be
Maja	Kehl, Deutschland	maja@maja.de
N.A.S.	Reykjavik, Iceland	nasinfo@nas.is
<b>North Star</b>	<b>Seattle, USA</b>	info@northstarice.com
<b>Paul Mueller</b>	<b>Springfield, USA</b>	thermal@muel.com
Scotsman - Europe	Milano, Italia	scotsman.europe@frimont.inet.it
Teпа	Barsbittel, Deutschland	
Turbo Marine	Tampa, FL, USA	
Turbo Refrigating	Denton, TX, USA	info@turboice.com
<b>Ziegа</b>	<b>Isernhagen, Deutschland</b>	ice@ziegra.com

Примечание: фирмы, выделенные жирным шрифтом, более активно занимаются производством генераторов шуги.

институте создан специальный исследовательский центр по ледяным суспензиям, который поддерживается крупными концернами и длительное время возглавлялся доктором Михаэлем Кауфелдом.

При аккумуляции холода шуге, по-видимому, нет ныне равных по эксплуатационным качествам и эффективности. Шуга уже доказала свои значительные преимущества при обеспечении холодом крупных промышленных и офисных зданий, охлаждении ядерных реакторов на суше и в атомных подводных лодках. В США ведутся активные исследовательские работы по холодоснабжению целых жилых кварталов в крупных городах. Несомненно, будущее откроет новые заманчивые перспективы для неограниченного применения шуги во всех сферах мирового хозяйства.

### Благодарности

Настоящий обзор подготовлен при поддержке научно-исследовательского проекта Европейского союза IC15 СТ98 0912. Научный координатор К. Фикийн, Технический университет, София, Болгария; административный координатор Б. Николаи, Католический университет Левен, Бельгия.

### Адреса авторов:

Кафедра тепловой и холодильной техники, Софийский технический университет, бул. Климент Охридски № 8, 1756, София, Болгария, agf@tu-sofia.acad.bg

Кафедра общей и холодильной технологии пищевых продуктов, Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, ул. Ломоносова, 9, 191002, Санкт-Петербург, Россия, wercg@mail.ru

### Литература

1. Ben Lakhdar M. A., Blain G., Compignat A., Liope D. and Smah M. Direct expansion and indirect refrigeration with ice-slurry: Comparison in supermarket. Proceedings of the Third IIR Workshop on Ice Slurries, Lucerne, Switzerland, 2001, pp.166-167.
2. Chuard M. and Fortun J. COLDECO — A new technology system for production and storage of ice. Proceedings of the First IIR Workshop on Ice Slurries, Yverdon-les-Bains, Switzerland, 1999, pp.139-145.
3. Egolf P. W. and Sari O. Organisers' introductory remarks. Proceedings of the First IIR Workshop on Ice Slurries, Yverdon-les-Bains, Switzerland, 1999
4. Fikiin A. G. and Fikiin K. A. Individual quick freezing of foods by hydrofluidisation and pumpable ice slurries. In Advances in the Refrigeration Systems, Food Technologies and Cold Chain (Ed.: Kostadin Fikiin) — Proceedings of the IIR Conference, Sofia, Bulgaria, 1998-6, p.319-326 (Published also in AIRAH Journal, 2001, Vol.55, No.11, pp.15-18).
5. Fikiin K., Tsvetkov O., Laptev Yu., Fikiin A. and Kolodyaznaya V. Thermophysical and engineering issues of the immersion freezing of fruits in ice slurries based on sugar-ethanol aqueous solutions. Proceedings of the Third IIR Workshop on Ice Slurries, Lucerne, Switzerland, 2001, pp.147-154.
6. Kauffeld M., Christensen K. G., Lund S. and Hansen T. H., Experience with ice slurry. Proceedings of the First IIR Workshop on Ice Slurries, Yverdon-les-Bains, Switzerland, 1999, pp.42-54.
7. Malter L. Binary ice generation and applications of pumpable ice slurries for indirect cooling. In Application for Natural Refrigerants — Proceedings of the IIR Conference, Aarhus, Denmark, 1996-3, pp.527-534.
8. Meewisse J. W. and Infante Ferreira C. A., 2001. Experiments on fluidised bed ice slurry production. Proceedings of the Third IIR Workshop on Ice Slurries, Lucerne, Switzerland, pp.105-112.
9. Schaedle K. H. Binary ice plant for the UBS-Basel. Proceedings of the Third IIR Workshop on Ice Slurries, Lucerne, Switzerland, 2001, p.168.
10. Ure Z. Slurry Ice Based Cooling Systems. In Advances in the Refrigeration Systems, Food Technologies and Cold Chain (Ed.: Kostadin Fikiin) — Proceedings of the IIR Conference, Sofia, Bulgaria, 1998, pp.172-179 (Published also in AIRAH Journal, 2001, Vol.55, No.9, pp.24-27).
11. Van Bael J. FLO-ICE as a carrier for cold. CADDET Energy Efficiency, 1996, Newsletter No.4.
12. Дворжак З. Бинарный лед. Холодильный бизнес, 2000, №3, с. 6-9.

## FINE-CRYSTALLINE ICE SLURRIES AS A BASIS OF ADVANCED INDUSTRIAL TECHNOLOGIES: STATE OF THE ART AND FUTURE PROSPECTS

Kostadin FIKIIN, Tatiana FILATOVA, Vladimir SOKOLOV and Nikola KALOYANOV

The present survey considers up-to-date industrial technologies employing pumpable ice slurries (known under different trade names, such as FLO-ICE, BINARY ICE, Liquid ICE, Fluid ICE, Slurry-ICE or Pumpable-ICE). Principal methods and existing engineering systems for generation of fine-crystalline iceslurries are presented. Special attention is devoted to the ice slurry accumulation, storage and refrigeration supply to remote users. Several leading manufacturers of iceslurry generators and related equipment are introduced as well. Main commercial applications of ice slurries are also outlined, along with current challenges, trends and prospects for development of advanced ice-slurry-based technologies.