

Д-р техн. наук, проф. **О.Б.ЦВЕТКОВ**,
канд. техн. наук, вед. науч. сотр.
Ю.А.ЛАПТЕВ,
д-р техн. наук, проф.
В.С.КОЛОДЯЗНАЯ
СПбГУНИПТ

Одно- и двухфазные жидкие хладоносители

Properties and effectiveness of use of single- and two-phase secondary refrigerants are compared. The advantages of two-phase cooling media ensuring a higher value of heat-transfer coefficient are shown. In this case the amount of cooling medium in the system is reduced, the distance of cold transportation is increased and refrigeration losses in main pipelines are reduced.

При косвенном (иногда его называют рассольным) охлаждении теплота от охлаждаемого объекта передается промежуточной среде — хладоносителю. Нагретый хладоноситель поступает в испаритель, где охлаждается кипящим хладагентом, и вновь направляется к охлаждаемому объекту. Схемы косвенного охлаждения сложнее схем непосредственного, в них требуется создавать более низкие температуры кипения. Применение таких схем должно быть оправданным и основанным на конкретных технологических и экономических показателях [8].

События последних лет свидетельствуют о том, что предпочтительный выбор систем косвенного охлаждения обусловлен также экологическим аспектом применения хладагентов. Разрушение озонового слоя Земли и еще более грозные реалии глобального потепления заставили специалистов пересмотреть привычные критерии.

Приоритетной стала тенденция снижения количества заправляемых в холодильную установку хладагентов, и прежде всего таких, как аммиак, применение которого до последнего времени в значительной степени сдерживалось существенной аммиакоемкостью холодильных систем. Современные проектные решения (в том числе использование косвенного охлаждения) позволяют на порядок и более снизить этот показатель [12].

Идеальных хладоносителей не существует, поэтому выбор их не менее ответствен, чем выбор хладагента.

Существенное значение имеют вязкость и коррозионные свойства, объемная теплоемкость (c_p), теплопроводность, коэффициент теплоотдачи в режиме турбулентного и ламинарного течения, гидравлические потери, удельная мощность насосов для перекачки хладоносителя, эко-

логические и физиологические характеристики, а также стоимость хладоносителя.

Жидкие хладоносители (особенно на водной основе) характеризуются значительной объемной теплоемкостью в сравнении с воздухом, обеспечивают компактность систем хладоснабжения, энергетически выгодны. Хотя, бесспорно, воздух — экологически безопасен, может быть охлажден практически до любой требуемой в холодильной технике температуры, не вызывает коррозии. Жидкие хладоносители в этом отношении далеко не безупречны: некоторые из них токсичны, небезопасны для окружающей среды, обладают высокой коррозионной активностью, значительной вязкостью, особенно при низких температурах, дороги, затрудняют обслуживание установок.

Теплофизические характеристики жидких хладоносителей представлены в таблице. Помимо традиционно используемых хладоносителей приведены и менее известные, иногда имеющие только фирменное название.

Из применяемых хладоносителей этиленгликоль токсичен (даже ядовит по ГОСТ 19710–83 [5]) и небезопасен для окружающей среды. Пропиленгликоль (пропанидол) может служить пищевой добавкой (E1520), растворим в воде и спиртах, гигроскопичен. При низких температурах имеет высокую вязкость, небезопасен для окружающей среды [18]. Этанол пожароопасен, имеет низкую температуру кипения при атмосферном давлении. Метанол не только пожароопасен, но и к тому же исключительно вреден для здоровья. Высокой вязкостью при низких тем-

пературах характеризуются водные растворы глицерина. При использовании этих хладоносителей не исключены также проблемы, связанные с коррозией и с подбором уплотняющих материалов. Карбонат калия K_2CO_3 имеет высокие значения pH и сравнительно высокую эвтектическую температуру (порядка $-37^\circ C$).

Неядовиты и нетоксичны водные растворы хлоридов натрия, кальция и магния. Водные растворы солей и гликолей сравнительно дешевы, тогда как стоимость синтетических хладоносителей выше. Растворы на водной основе имеют высокие значения объемной теплоемкости: 3300...3800 кДж/(м³ · К), неводные хладоносители — на 50–60 % меньше. Это же касается теплопроводности, которая у водных растворов выше в 2–3 раза. Более высокие значения коэффициентов теплоотдачи имеют также водные растворы (особенно растворы хлорида кальция) в сравнении с неводными хладоносителями. Вместе с тем последние имеют меньшую вязкость при низких температурах и позволяют обеспечивать турбулентный режим движения в теплообменной аппаратуре, что оказывается иногда недостижимым для водных растворов. Преимущество неводных растворов — их коррозионная пассивность, хотя некоторые из них, например d-limonene, также могут вызывать коррозию.

Недостаток водных растворов — исключительно высокая коррозионная активность. В коррозионном процессе, происходящем в водной среде, большую роль играют растворенные в ней кислород и диоксид углерода. Скорость коррозии в небла-

поприятных условиях может достигать 1,5 мм/год [7], причем наблюдается неравномерность коррозии трубопроводов и теплообменной аппаратуры из углеродистой стали, появляется даже язвенная коррозия.

Наиболее интенсивна коррозия в открытых рассольных системах из-за большего насыщения их кислородом воздуха. Особое усиление коррозии (до 5–6 раз) наблюдается вблизи границы раздела водный раствор соли — воздух. Аустенитные хромоникелевые стали в хлоридных водных рассолах склонны к растрескиванию, точечной и язвенной коррозии. Алюминий подвержен коррозии в разбавленных и концентрированных растворах хлорида натрия. Скорость коррозии меди, бронзы, латуни и алюминиевых сплавов при обычных температурах в целом невелика: сотые доли миллиметра в год.

На скорость коррозии влияет pH раствора. У щелочных растворов скорость коррозии меньше, однако рекомендуют растворы с pH не более 8,5...10. Низкая коррозионная активность у растворов пропиленгликоля, этиленгликоля, глицерина в воде. Высокие значения pH имеют водные растворы ацетатов (ацетат калия) и карбонатов (карбонат калия). Высокую коррозионную активность имеют водные растворы хлорида лития. Стоимость хлорида лития сравнительно высока. Хлорид калия и магниевые соли могут повреждать пищевые продукты. Высокая концентрация раствора хлорида кальция может быть опасна для пищевода человека при попадании раствора внутрь.

В качестве ингибиторов коррозии для водосолевых растворов применяют бензотриазол, толилтриазол, буру, алкасиликаты, хроматы, фосфаты, полифосфаты, карбонат натрия, сахараты. Существенна стоимость ингибиторов, далеко не все из них безопасны.

Важный показатель — температура замерзания t_3 хладоносителя. Воду в качестве хладоносителя применяют при температурах 6...8 °С, иногда даже и при более близких к 0 °С положительных температурах.

Свойства хладоносителей

Название, торговая марка	t_3 , °С	Динамический коэффициент вязкости $\mu \cdot 10^6$, Па · с	Удельная теплоемкость при постоянном давлении c_p , кДж/(кг · К)	Теплопроводность λ , Вт/(м · К)	Плотность ρ , кг/м ³	Примечание
Водный раствор NaCl (23,1 % по массе)	-21,2	5750	3,308	0,520	1175	μ , c_p , λ — при -15°C; ρ — при 15°C [10]
Водный раствор CaCl ₂ (29,9 % по массе)	-55,0	22560	2,659	0,488	1286	μ , c_p , λ — при -30°C; ρ — при 15°C [10]
Водный раствор этиленгликоля (38,8 % по массе)	-26	11080	3,46	0,454	1050	μ , c_p , λ — при -15°C; ρ — при 15°C [11]
«Арктика-45»	—	—	2,94	0,46	—	μ , c_p , λ — при -40°C [11]
«Асол-К»	-57...-59	7650—7670	3,486	0,563	1483...1490	ρ , μ , c_p , λ — при 20°C [11]
«Тосол А-65»	-53	4030	3,101	0,39	1077	20°C; μ — при 27°C [11]
Дихлорметан CH ₂ Cl ₂	-96,7	759,7	1,110	0,165	1374	При -30°C; насыщенная жидкость [11]
Вода	0	1299,2	4,193	0,586	999,7	При 10°C [4]
Этанол (раствор в воде; объемная доля 96 %)	-114,5	1799	2,332	0,183	824,4	При 0°C [4]
Метанол	-98,0	817	2,42	0,210	810	При 0°C [4]
Диоксид углерода	-56,57 (тройная точка)	144,8	2,095	0,135	1045,9	При -23°C [11]
Этиленгликоль	-15,6	9566	2,474	0,256	1100,8	При 40°C [11]
Глицерин	-18	330000	2,45	0,281	1250	При 40°C [4]
Водный раствор пропиленгликоля (40,0 % по массе)	-20,5	15600	3,740	0,388	1043	При -4°C [5]
Syltherm XLT	-111,0	4800	1,495	0,115	897	При -40°C [17]
Freezium (37 % по массе, раствор в воде)	-30	4842	2,94	0,48	1248	При -15°C [11]
Neogel	-63,0	69300	2,94	0,458	1260	При -40°C [17]
Thermogen VP 1869 PUR	-80,0	24700	2,165	0,16	988	При -40°C [17]
Tyfoxit 1.24	-55,0	80830	2,771	0,405	1264	При -40°C [6, 17]
Dowtherm J	-86,0	2880	1,664	0,138	907	При -40°C [17]
Gilotherm D12	-70,0	6240	1,875	0,134	804,6	При -40°C [17]
d-limonene	-73,0	2200	1,58	0,131	882	При -40°C [17]
Нускоол 50	-55,0	37000	(c_p) 3320 кДж/(м ³ · К)	0,39	—	При -40°C [17]
«Экосол-40»	-40,0	10000 («Экосол-65» при -25 °С)	4,434	0,634	1024	При 20°C [9]

При низких температурах традиционно используют водные растворы солей, спиртов, гликолей, в последние годы — синтетические хладоносители и жидкий диоксид углерода.

Можно вспомнить 70-е годы, когда низкотемпературными хладоносителями служили хладагенты R11, R113, R21 и др. После подписания Монреальского протокола от этого направления отказались. В промышленных системах все еще применяют дихлорметан, трихлорэтилен, толуол, изопентан, но они имеют резкий запах, огнеопасны, некоторые из них обладают анестезиологическими свойствами. Хладоносители Dowtherm и «Тосол А-65» токсичны.

Один из лучших и экологически безопасных хладоносителей в области низких температур — жидкий диоксид углерода. Вязкость его значительно ниже вязкости воды и в 100 раз ниже, чем у водного раствора пропиленгликоля. Диоксид углерода обеспечивает высокие коэффициенты теплоотдачи, малые гидравлические потери в системе, исключительную компактность. Особенность диоксида углерода — сравнительно высокое давление в системе: в тройной точке давление превышает 0,518 МПа (5 кгс/см²). Подобные особенности диоксида углерода ранее служили препятствием, сегодня же они успешно преодолеваются. В ряде супермаркетов с аммиачными холодильными установками уже используют схемы косвенного охлаждения [21], где хладоносителем служит диоксид углерода.

Стали перспективными водные растворы ацетата калия и формиата калия. Формиат калия (соль муравьиной кислоты) имеет химическую формулу HCOOK, ацетат калия — соль уксусной кислоты (формула его CH₃CO₂K). Существует несколько фирменных названий этих видов хладоносителей, в том числе Tyfoxit, Freezium, Nусool. В торговой марке иногда приводят плотность раствора (например, Tyfoxit 1.24 [6]). Эвтектическая температура формиата калия около -60 °С, соответствующая массовой доле его в водном растворе, равной 53 %.

Хладоносители этого типа пригодны к использованию в температурном диапазоне -55...+80 °С. Теплопроводность раствора в зависимости от содержания воды равна 0,39...0,56 Вт/(м·К), объемная теплоемкость — 3300...3570 кДж/(м³·К).

Коэффициент объемного расширения хладоносителя имеет тот же порядок, что и водных растворов солей и гликолей. Вязкость раствора формиата калия иногда может быть выше, чем вязкость раствора хлорида кальция, однако ниже, чем у растворов ацетата калия и гликолей.

Раствор формиата калия обеспечивает приемлемые значения (во многих случаях не хуже) гидравлических потерь, коэффициентов теплоотдачи, мощности насоса, расходуемой на перекачку раствора при низких температурах, в сравнении с растворами хлорида кальция, этиленгликоля, ацетата калия и раствора пропиленгликоля [15]. Ацетат калия неопасен и может быть использован даже как пищевая добавка. Безвреден для человека формиат калия, используемый в серии хладоносителей Tyfoxit F20-60, Nусool 50 и т.д. В обозначении этих видов хладоносителей последняя цифра означает нижний предел охлаждения [6, 15].

Хладоносители на основе органических солей калия не относятся к разряду опасных жидкостей, более того, являются биоразлагающимися веществами. Через 15 дней формиат калия разлагается в окружающей среде на 90 %. При попадании на кожу и слизистые оболочки человека растворы органических солей не вызывают жжения или болевых ощущений, легко смываются водой. Благоприятны коррозионные характеристики этих растворов: они практически не корродируют сталь, чугун, алюминий и бронзу. Темпы коррозии не превышают 0,002 мм в год. Растворы калия, однако, плохо совместимы с мягкими припоями, цинком и гальваническими покрытиями [15].

Новыми хладоносителями являются также экосолы [9]. В обозначениях экосолов, к примеру «Экосол-40», «Экосол-65», приводят темпе-

ратуру замерзания. Экосолы содержат воду и этилкарбитол. Эти хладоносители химически неактивны, коррозионные свойства их не противоречат требованиям ГОСТ 28084-89. Вязкость экосолов ниже вязкости водных растворов этиленгликоля и хлорида кальция. Объем экосолов при понижении температуры уменьшается, что исключает возможность разрыва трубопроводов при замерзании хладоносителя. Стоимость экосолов находится на уровне стоимости этиленгликоля.

Общий недостаток рассольного охлаждения — низкая холодопроизводительность в сравнении с непосредственным охлаждением. Аккумулируемая хладоносителем удельная теплота при изменении его температуры на 2...5 °С не превышает 25 кДж/кг. Удельная теплота парообразования кипящего хладагента более значительна и составляет от 1368 кДж/кг для аммиака при -33,4 °С до 159 кДж/кг для R125 при -48,5 °С. Коэффициенты теплоотдачи при кипении хладагентов принципиально должны быть выше (что связано с фазовым переходом), чем коэффициенты теплоотдачи со стороны однофазных хладоносителей. Так, при кипении аммиака в межтрубном пространстве кожухотрубного испарителя коэффициент теплоотдачи при -10 °С может превышать 4000 Вт/(м²·К), а для водного раствора хлорида кальция, охлаждаемого от -18 до -12 °С, — чуть более 1000 Вт/(м²·К) [10].

Значительны затраты на транспортировку хладоносителя к потребителю (насосы, трубы, арматура), на борьбу с коррозией, покупку ингибиторов и приобретение соответствующего оборудования.

Сложности возрастают при транспортировке хладоносителя на значительные расстояния — десятки и сотни метров (к примеру, в современных супермаркетах). Эффективное решение этой задачи нашел в 1967 г. В.А. Чижиков [2], предложив хладоноситель, состоящий из двух фаз — жидкой и твердой. Твердая фаза получается в виде отдельных частиц при охлаждении хладоноси-

температуры ликвидуса. Для центрального хладоснабжения были использованы системы раствор-лед на основе водного раствора хлорида натрия. В результате удалось вдвое снизить диаметр трубопроводов, уменьшить стоимость системы, довести дальность централизованного хладоснабжения до 5 км при температуре рассола -10°C и холодопроизводительности 1163 кВт [13].

При охлаждении водных растворов ниже температуры замерзания появляются микроскопические кристаллы льда. Подобные кристаллы не мешают транспортировке двухфазной суспензии по трубопроводам. Двухфазный хладоноситель рассол-лед, предложенный В.А. Чижиковым, сегодня называют бинарным льдом, жидким льдом, айссларри (ice-slurry), pumpable ice и т. д. Использование айссларри (этот термин встречается в литературе чаще всего) позволяет по энергетическим характеристикам приблизиться к системам непосредственного охлаждения [20].

Айссларри получают из морской воды, водных растворов солей, глицеролей или спиртов. Жидкая фаза (раствор) разделяет кристаллы льда, позволяя избежать образования снежных комков. Это сохраняет возможность перекачки суспензии, содержащей вплоть до 60 % (по массе) льда, и реализовать достаточно низкие температуры, необходимые для техники «умеренного» холода. Поскольку удельная теплота плавления льда при 0°C составляет 335 кДж/кг, для обычно реализуемых значений массовой доли льда в двухфазной системе удастся обеспечить холодопроизводительность до 100 кДж/кг. Если учесть возможный нагрев раствора после плавления льда, то холодопроизводительность может стать выше еще на 25...50 кДж/кг. При использовании айссларри могут быть обеспечены в 3–5 раз большие энергетические возможности, чем при обычных хладоносителях, и до 50 % снижены диаметры трубопроводов.

Размеры кристаллов льда в айссларри действительно невелики — от

долей микрона до 450 мкм, лучше — не более 250 мкм. Доля льда и размер кристалликов зависят от многих факторов, в первую очередь от совершенства конструкции льдогенератора, а также от скорости течения раствора, концентрации растворенных веществ, времени нахождения кристаллов льда в растворе, условий теплообмена и т. д. Айссларри считают гомогенной ньютоновской жидкостью, когда объемная доля льда не превышает 20...25 % [14]. При более высоких значениях суспензия льда и раствора проявляет свойства псевдо-эластичной неньютоновской жидкости. Коэффициенты теплоотдачи айссларри высокие, поскольку имеет место фазовый переход — плавление льда. С увеличением доли льда в суспензии и с ростом скорости движения хладоносителя коэффициент теплоотдачи возрастает. Влияние первого фактора значительнее. Коэффициенты теплопередачи для айссларри могут быть даже выше, чем в системах с непосредственным кипением хладагентов.

Применение айссларри, таким образом, удачно сочетает эффективность и высокие энергетические показатели системы непосредственного охлаждения с использованием достаточно простого в обслуживании, известного и экологически безопасного вещества — воды.

Важнейшие свойства двухфазной смеси — плотность ρ , теплопроводность λ , эффективная теплоемкость c_p и динамическая вязкость μ .

Теплофизические свойства айссларри можно рассчитать по следующим формулам.

Плотность айссларри ρ_{ac} (кг/м³) [3]

$$\rho_{ac} = \frac{1}{\frac{\xi_l}{\rho_l} + \frac{1-\xi_l}{\rho_j}},$$

где ξ_l — массовая доля льда;

ρ_l — плотность льда, кг/м³;

$\rho_l = 916,8(1 - 0,00015t)$.

Здесь t — температура, $^\circ\text{C}$;

ρ_j — плотность жидкого раствора.

Динамический коэффициент вязкости айссларри μ_{ac} (Па·с) [22]

$$\mu_{ac} = \mu_j \Phi,$$

где μ_j — динамический коэффи-

циент вязкости жидкого раствора, Па·с;

$$\Phi = 1 + 2,5\varphi_l + 10,05\varphi_l^2 + A;$$

$$A = 0,00273 \exp(16,6\varphi_l);$$

φ_l — объемная доля льда;

$$\varphi_l = \xi_l [\xi_l + (1 - \xi_l)(\rho_l/\rho_j)]^{-1}.$$

Формулы для расчета динамического коэффициента вязкости справедливы при размерах кристаллов льда не более 450 мкм и $\varphi_l < 0,625$.

Эффективная теплопроводность айссларри λ_{ac} , Вт/(м·К) [3, 16]

$$\lambda_{ac} = \lambda_j X;$$

$$X = 1 + 3\varphi_l\beta + 3\varphi_l^2\beta^2\omega;$$

$$\omega = 1 + 0,25\beta + 0,1875\beta\Theta;$$

$$\beta = (\alpha - 1)/(\alpha + 2);$$

$$\Theta = (\alpha + 2)/(2\alpha + 3);$$

$$\alpha = \lambda_l/\lambda_j;$$

$$\lambda_l = 2,22(1 - 0,0015t),$$

где λ_j — теплопроводность жидкого раствора, Вт/(м·К);

λ_l — теплопроводность льда, Вт/(м·К).

Эффективная удельная теплоемкость айссларри при постоянном давлении c_{pac} [кДж/(кг·К)]

$$c_{pac} \approx \xi_l c_{pl} + (1 - \xi_l) c_{pj};$$

$$c_{pac} \approx (\partial h_{ac}/\partial T)_p,$$

где c_{pl} , c_{pj} — удельная теплоемкость соответственно льда и жидкого раствора, кДж/(кг·К);

T — температура, К;

h_{ac} — удельная энтальпия айссларри, кДж/кг;

$$h_{ac} = \xi_l h_l + (1 - \xi_l) h_j;$$

$$h_l = -L + \int_0^t c_{pl} dt;$$

$$c_{pl} = 2,116 + 0,0078t;$$

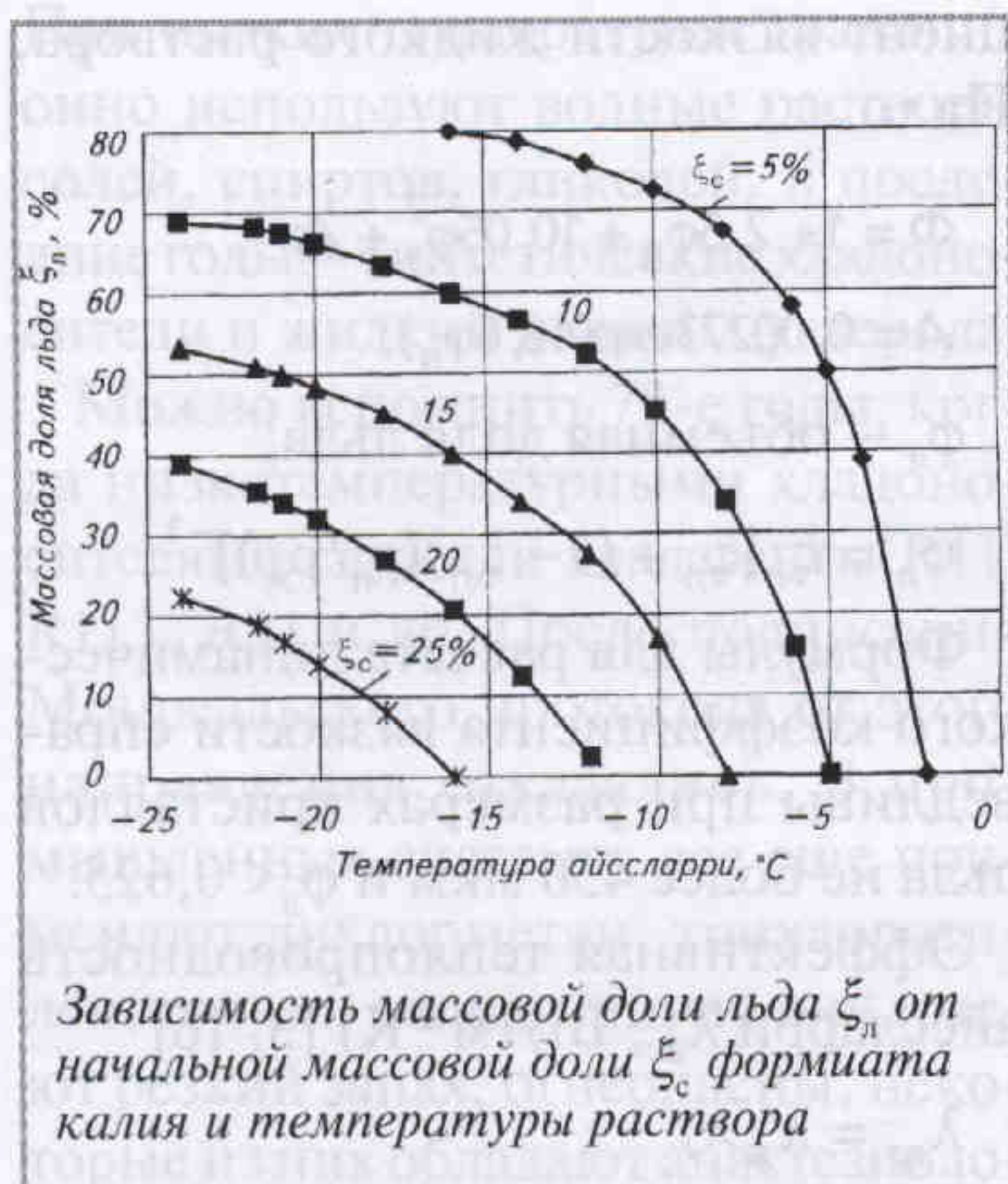
$$L = 335 + 2,12t,$$

где h_l , h_j — соответственно удельная энтальпия льда и жидкого раствора, кДж/кг;

L — удельная теплота плавления льда, кДж/кг;

t — температура, $^\circ\text{C}$.

Согласно расчетам теплопроводность и вязкость айссларри выше значений аналогичных свойств для однофазного раствора на 50 % и бо-



лее при объемной доле льда 15 %. Зависимость массовой доли образующегося льда на примере раствора формиата калия в воде иллюстрирует рисунок [19]. Доля вымороженного льда увеличивается с понижением температуры раствора и, к примеру, достигает 80 % для 5%-ного раствора формиата калия при -16°C .

Массовая доля солей (спирта, гликоля) в хладоносителе после появления твердой фазы возрастает. Свойства жидкой фазы поэтому должны соответствовать ее новому значению $\xi_{\text{с}}$:

$$\xi_{\text{с}} = \xi_{\text{с}}^* / (1 - \xi_{\text{л}}),$$

где $\xi_{\text{с}}^*$ — начальная массовая доля растворенного вещества — соли (спиртов, гликолей и т.д.) в хладоносителе до появления кристаллов льда;

$\xi_{\text{л}}$ — массовая доля льда.

Айссларри-технологии, уже применяемые для аккумуляции и транспортировки холода, позволяют (по имеющимся публикациям) реализовать охлаждение до -35°C . Известные системы «Флоайс», работающие по такой технологии, предназначены, например, для хладоснабжения небольших фризеров в супермаркетах и охлаждаемых прилавков. Айссларри получают с помощью расположенных в отдельных помещениях холодильных установок на аммиаке, пропане и т.д. В системах значительно большей мощности, превышающей несколько мегаватт, используют вакуумные льдогенераторы, ко-

торые производят айссларри с температурой, близкой к 0°C .

Перспективы возможного развития айссларри-технологий определяются рядом преимуществ холодильных систем, в которых используется айссларри в качестве хладоносителя. Основными преимуществами являются:

- сокращение количества хладоносителя в системе и снижение удельных энергозатрат на его транспортировку;
- увеличение дальности транспортировки холода в системе хладоснабжения;
- уменьшение потерь холода в магистральных трубопроводах, создание более стабильного температурного режима хладоснабжения;
- более низкая температура хладоносителя;
- сокращение капитальных и эксплуатационных затрат.

* * *

Авторы признательны Программе ЕС «Инко-Коперникус» (проект ERBIC15 CT98 0912) за поддержку данной работы, а также П. Несвадбе, Б. Николаи, А. Фикину, К. Фикину и Н. Ширлинку за плодотворные дискуссии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтунин В.В. Теплофизические свойства двуокиси углерода. — М.: Изд-во стандартов, 1975.
2. А.с. 115784-23-26. Способ охлаждения различных объектов/В.А. Чижиков//Бюллетень изобретений, открытий и товарных знаков. 1968. № 28.
3. Бобков В.А. Производство и применение льда. — М.: Пищевая промышленность, 1977.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Наука, 1972.
5. Генель Л.С., Галкин М.Л., Сорокин С.С. Некоторые особенности применения теплоносителя на основе пропиленгликоля в холодильном оборудовании//Холодильная техника. 2000. № 5.
6. Иньков А.П. Хладоносители контуров промежуточного охлаждения//Холодильный бизнес. 2001. № 1.
7. Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Коррозия под действием теплоносителей, хладагентов и рабочих тел: Справочное изд-ие/А.М. Сухотин, А.Ф. Богачев,

В.Г. Пальмский и др. Под ред. А.М. Сухотина и В.М. Беренблит. — Л.: Химия, 1988.

8. Курьлев Е.С., Оносовский В.В., Румянцев Ю.Д. Холодильные установки. — СПб.: Политехника, 1999.

9. Новый хладоноситель, особенности и перспективы применения/В.В. Баранник, Б.Т. Маринюк, В.С. Овчаренко, В.П. Афонский//Холодильный бизнес. 2001. № 1.

10. Сборник задач и расчетов по теплопередаче/Г.Н. Данилова, В.Н. Филаткин, Р.Г. Черная, М.Г. Щербов. — М.: Госторгиздат, 1961.

11. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справочник/С.Н. Богданов, С.И. Бурцев, О.П. Иванов, А.В. Куприянова. Под ред. С.Н. Богданова. — СПб.: СПбГАХПТ, 1999.

12. Цветков О.Б. Аммиак — экологически безопасный холодильный агент//Холодильная техника. 2000. № 3.

13. Чижиков В.А. Охлаждение двухфазным хладоносителем//Холодильная техника. Секция холодильных установок: Тр. республ. научн. конф. — Л.: ЛТИХП, 1972.

14. Christensen K.G., Kauffeld M. Heat transfer measurements with ice slurry//Proc. IIR Intern. Conference. — Colledge Park, USA, 1997.

15. Evenmo K. New secondary fluid//Natural working fluids'98: Proc. IIR Gustav Lorentzen Conference, Oslo (Norway), June 2–5, 1998–4.

16. Jeffrey D.J. Conduction through a random suspension of spheres//Proc. Roy. Soc. Lond. — 1973. — Vol. A335.

17. Le Pellec C., Marvillet C., Cloduc D. Experimental study of plate heat exchangers in ammonia refrigeration unit//Proc. IIR Intern. Conference, Aarhus (Denmark), 1996–3.

18. Melinder A. Secondary refrigerants for indirect system — on thermophysical properties//Proc. IIR Intern. Conference, Aarhus (Denmark), 1996–3.

19. Melinder A., Granryd E. Using property values of water solutions and ice to estimate ice concentration and enthalpy values of ice slurries//Proc. IIR Intern. Conference. — Horwn, Lucerne (Suisse), 2001.

20. Paul S. Water as alternative refrigerant//Proc. IIR Intern. Conference, Hannover (Germany), 1994–1.

21. Rolfsan L. CO₂ and NH₃ in the supermarket ICA-FOCUS//Proc. IIR Intern. Conference, Aarhus (Denmark), 1996–3.

22. Thomas D.G. Transport characteristics of suspension//J. Colloid. Sci. — 1965. — Vol. 20.