

Хладагент R404A (FX70) и ретрофит холодильных систем, работающих на R502

С. Б. БАБАКИН
МГУПБ

Хладагент R404A (FX70) – квазиазеотропная смесь R125/R143/R134a с соотношением массовых долей компонентов 44/52/4. Температурный глейд менее 0,5 °C. Экологические характеристики: ODP = 0, HGWP = 0,94.

Первоначально (с 1993 г.) хладагент R404A использовали в новом оборудовании, рассчитанном на низкие и средние температуры кипения.

В настоящее время R404A применяют для ретрофита систем, работающих на R502, и в новом оборудовании (вместо R22).

Хладагент R404A используют в рефрижераторных контейнерах для получения низких температур, он перспективен также для применения на судовом рефрижераторном транспорте.

Ниже приводятся результаты исследований свойств R404A (FX70) в области рабочих температур $-60\ldots+60$ °C (ATOFINA).

Зависимость давления паров R404A и R502 от температуры (рис. 1) показывает, что в области температур 0... -60 °C обе кривые практически совпа-

дают. С повышением температуры от 0 до 60 °C давление паров хладагента R404A становится выше, чем у R502, но не более чем на 9 %. Это позволяет не заменять оборудование при ретрофите холодильных систем и переводе их с R502 на R404A.

Плотность насыщенной жидкости

Thermophysical and operational properties of quasi-azeotropic ozonesafe refrigerant R404A are presented. It is shown that it can be effectively used for retrofit of refrigerating systems, working on R502. No change of refrigerating equipment is required in this case. Special attention is given to particular features of retrofit and process of change of refrigerating oil.

R404A (рис. 2) в диапазоне температур $-60\ldots+40$ °C ниже плотности жидкого R502 на 12–18 %, поэтому заправляемое при ретрофите в холодильную систему количество хладагента R404A по массе в среднем на 10 % меньше, чем количество R502. Вследствие этого ресиверы, трубопроводы и насосы, используемые ранее в системе на R502, подходят для работы на R404A.

Значение растворимости в воде хла-

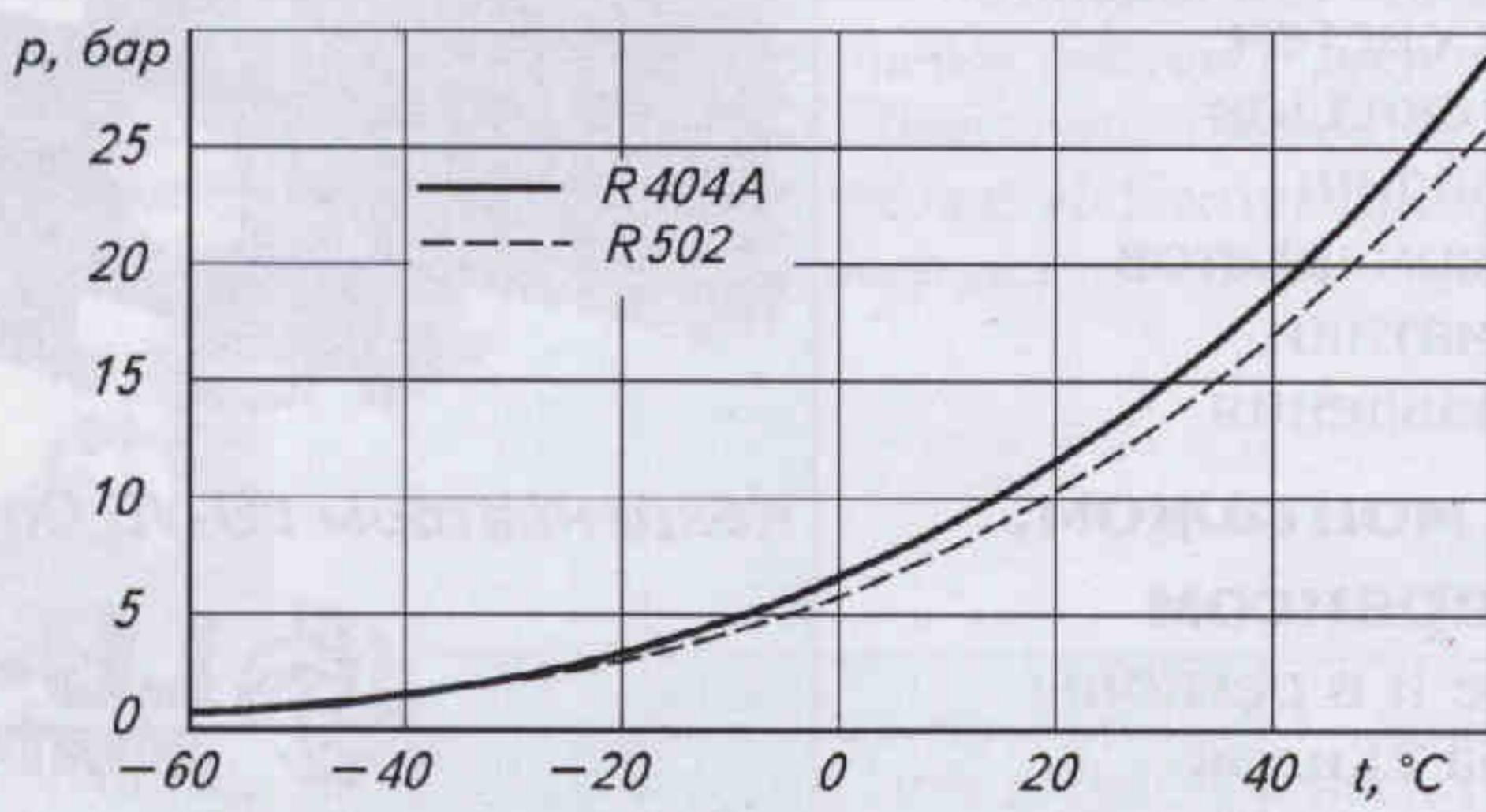


Рис. 1. Зависимость давления паров R404A и R502 от температуры

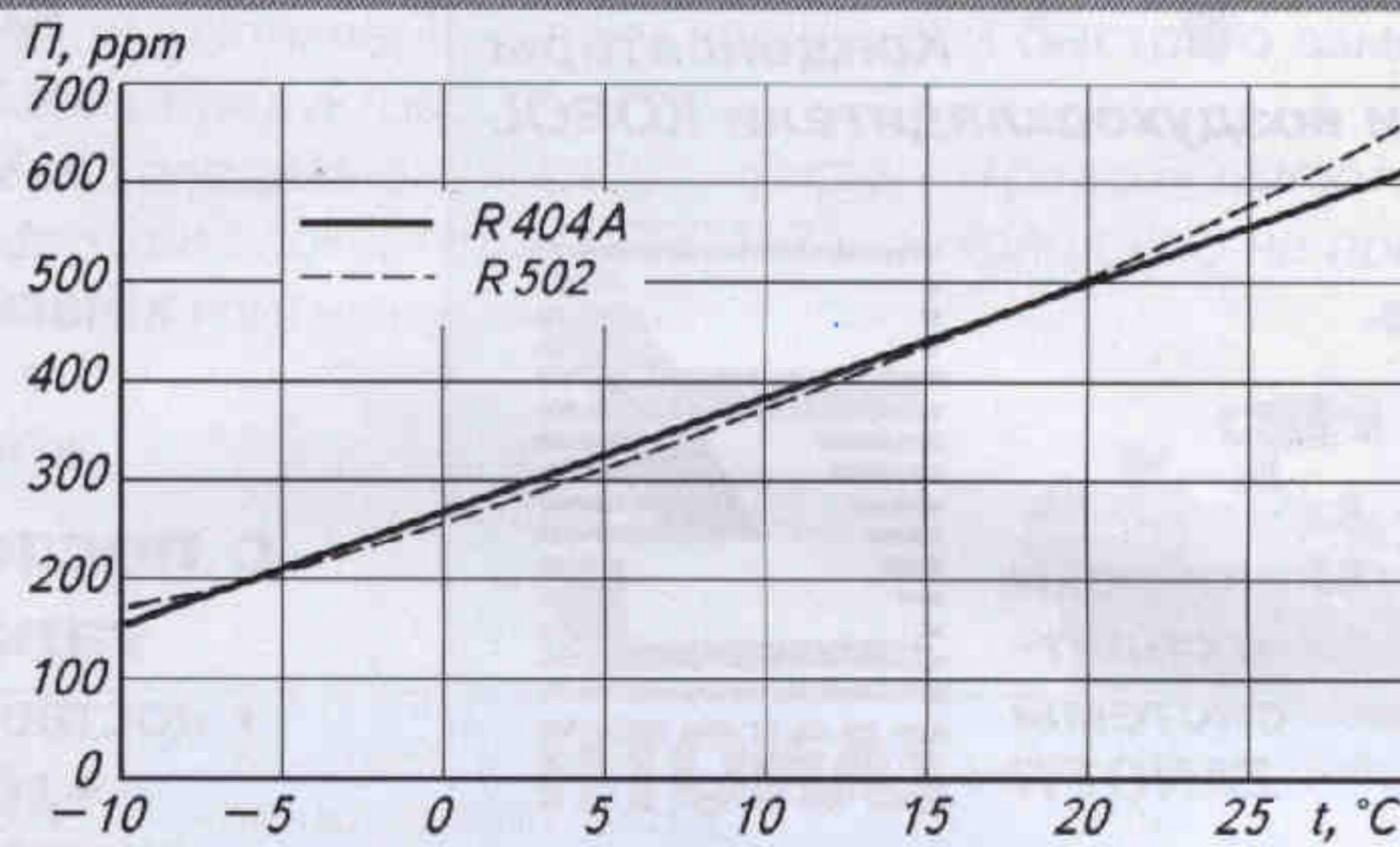


Рис. 3. Зависимость растворимости хладагентов R404A и R502 в воде от температуры

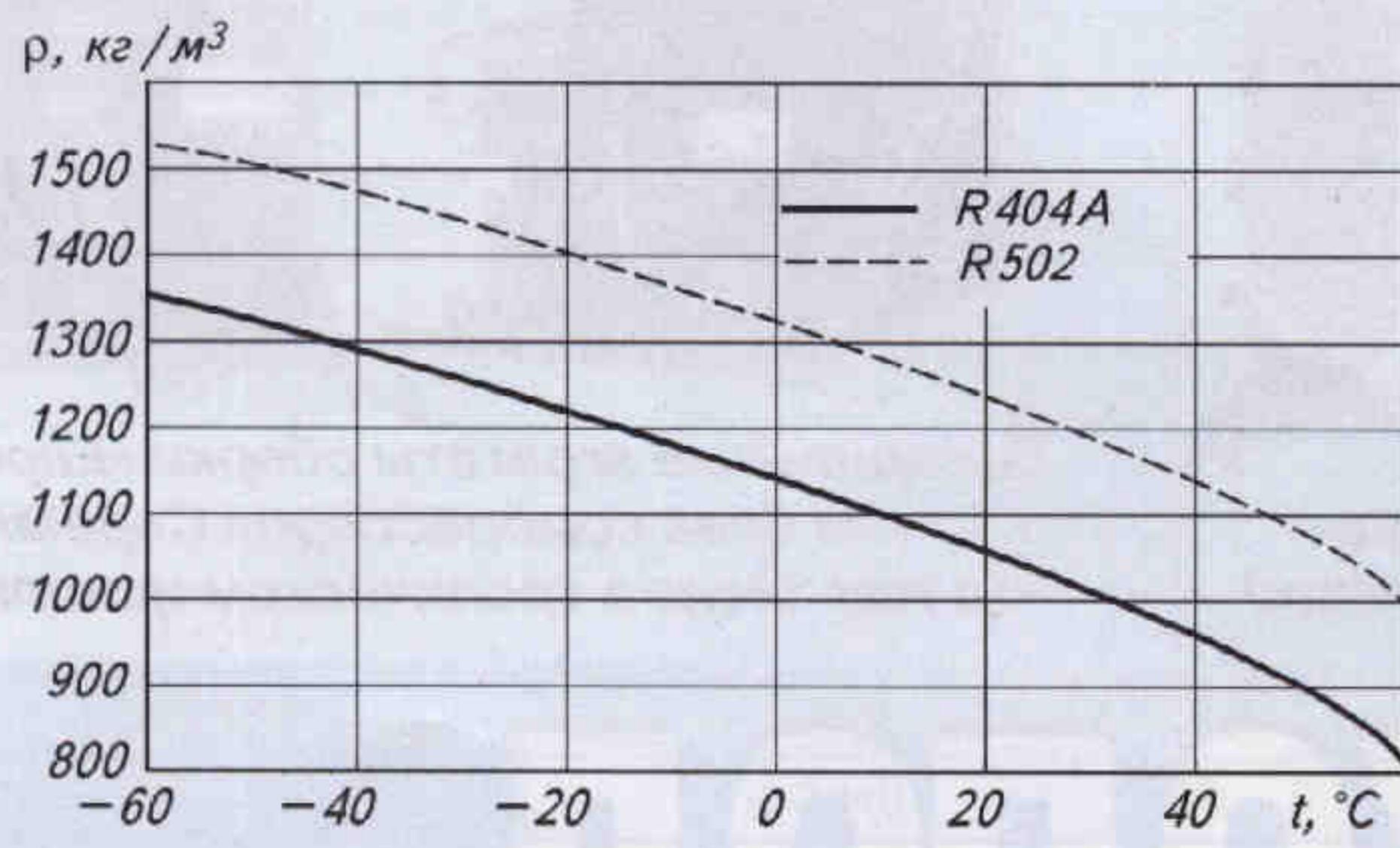


Рис. 2. Зависимость плотности насыщенной жидкости R404A и R502 от температуры

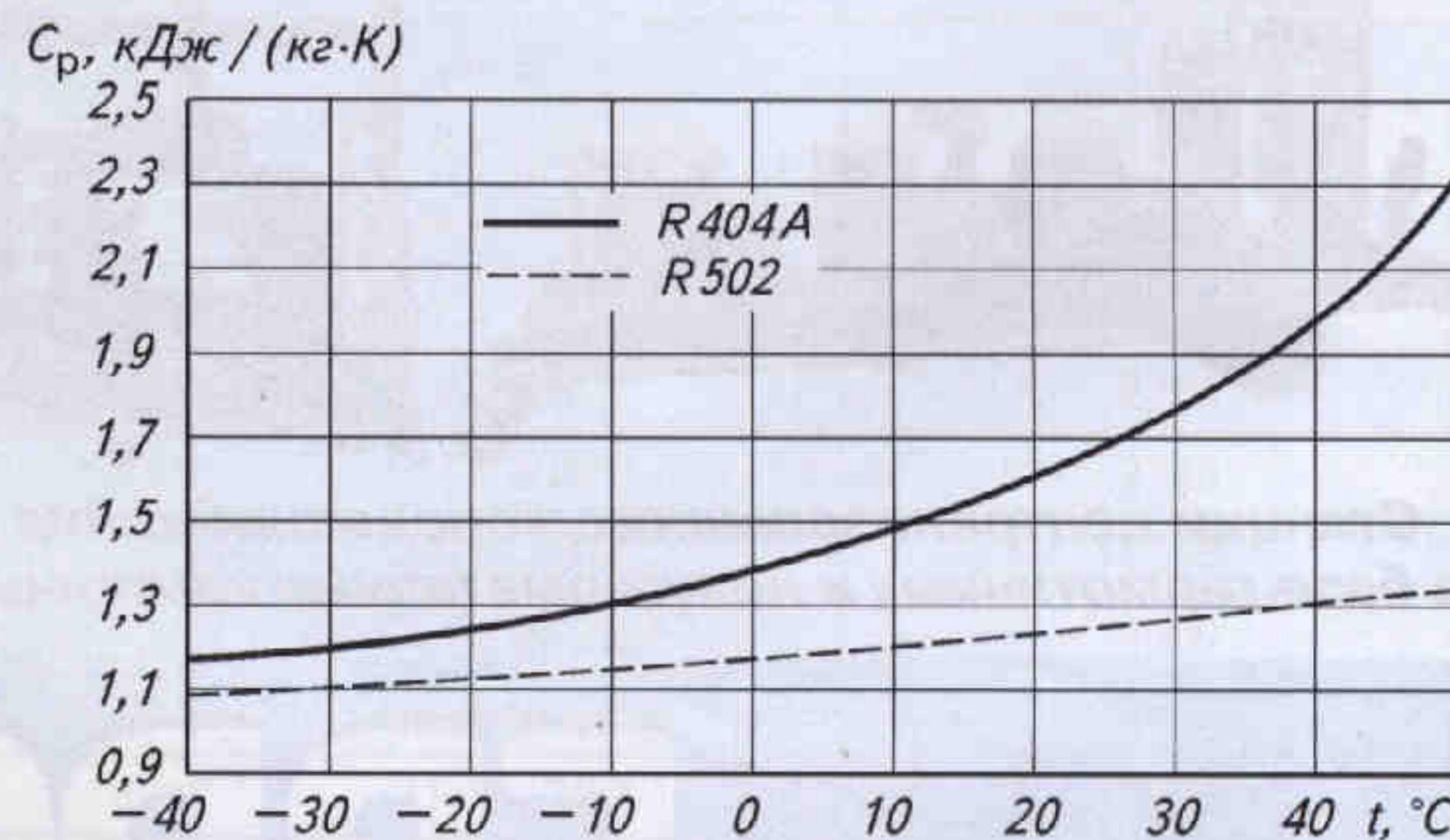


Рис. 4. Зависимость удельной теплоемкости насыщенной жидкости R404A и R502 от температуры

дагента R404A в области температур $-5\ldots+20$ °C такое же, как у R502, а в области температур $20\ldots30$ °C оно ниже в среднем на 3–4 % (рис.3).

Удельная теплоемкость насыщенного жидкого хладагента R404A выше, чем у жидкого R502 (рис.4), на $7\ldots43$ °C, поэтому переохлаждение R404A следует осуществлять более эффективно.

Теплопроводность насыщенной жидкости R404A в диапазоне температур $-40\ldots+60$ °C в среднем на 1–10 % выше, чем у R502, что повышает эффективность теплообмена и снижает затраты на эксплуатацию холодильной системы (рис. 5).

Коэффициент динамической вязкости R404A меньше, чем у R502, на 23–34 % в области температур $-40\ldots+60$ °C (рис. 6), что позволяет поддерживать более низкое давление в аппаратах и трубопроводах.

Поверхностное натяжение у R404A в области температур $-40\ldots+60$ °C немного ниже (на 1–6 %), чем у R502 (рис. 7), в результате чего кипение хладагента в испарителе происходит более интенсивно, повышая тем самым эффективность теплообмена в аппарате.

Температура нагнетания паров R404A ниже, чем R502, примерно на 10% при температурах кипения хладагента $-40\ldots-15$ °C (рис.8), что благоприятно сказывается на эксплуатации компрессоров, а также на свойствах прокладочных и изоляционных материалов.

Это позволяет при переводе систем на R502 уменьшить риск сгорания электродвигателя компрессора или его заклинивания.

Испытания холодильного агрегата – чиллера холодопроизводительностью 15 кВт при температурах конденсации 36 °C, на всасывании 15...30 °C и кипения $-15\ldots-40$ °C показали следующие результаты:

- холодопроизводительность хладагента R404A близка к холодопроизводительности R502 (рис. 9);
- значения потребляемой мощности холодильной системы при работе на R404A и на R502 близки в области температур $-15\ldots-30$ °C (рис. 10);
- холодильный коэффициент в области температур кипения $-15\ldots-40$ °C у R404A на 2...5 % ниже, чем у R502 (рис. 11).

При использовании R404A изменение состава циркулирующей в охлаж-

дающих системах смеси может привести к ухудшению характеристик систем, особенно если в схеме предусмотрен ресивер или она имеет значительную длину коммуникационных линий.

Теплофизические характеристики хладагента R404A выше, чем у R502, поэтому любую незначительную потерю КПД при сжатии можно возместить за счет более интенсивного теплообмена.

Из-за высокой полярности составных компонентов R404A не смешивается с минеральными и алкилбензольными маслами. Хладагент R404A хорошо смешивается с полиэфирными маслами (например, PLANETELF ACD 32): в области температур $-60\ldots+50$ °C находится зона полной растворимости (рис. 12).

На рис. 13 показано изменение растворимости хладагента R404A в полиэфирном масле в зависимости от содержания минерального масла в растворе. При ретрофите систем с заменой R502 на R404A необходимо добиться минимального остаточного содержания минерального или алкилбензольного масла в системе, так как от этого существенно зависит смешиваемость R404A с полиэфирными маслами. Фирма «Du Pont» рекомендует добиваться остаточного содержания минерального или алкилбензольного масла не более 5 % общего количества масла в холодильной системе, а фирма «Danfoss» – не более 1 %.

Эластомеры и пластмассы (прокладочные материалы, изоляция и детали электродвигателя и т.д.) постоянно

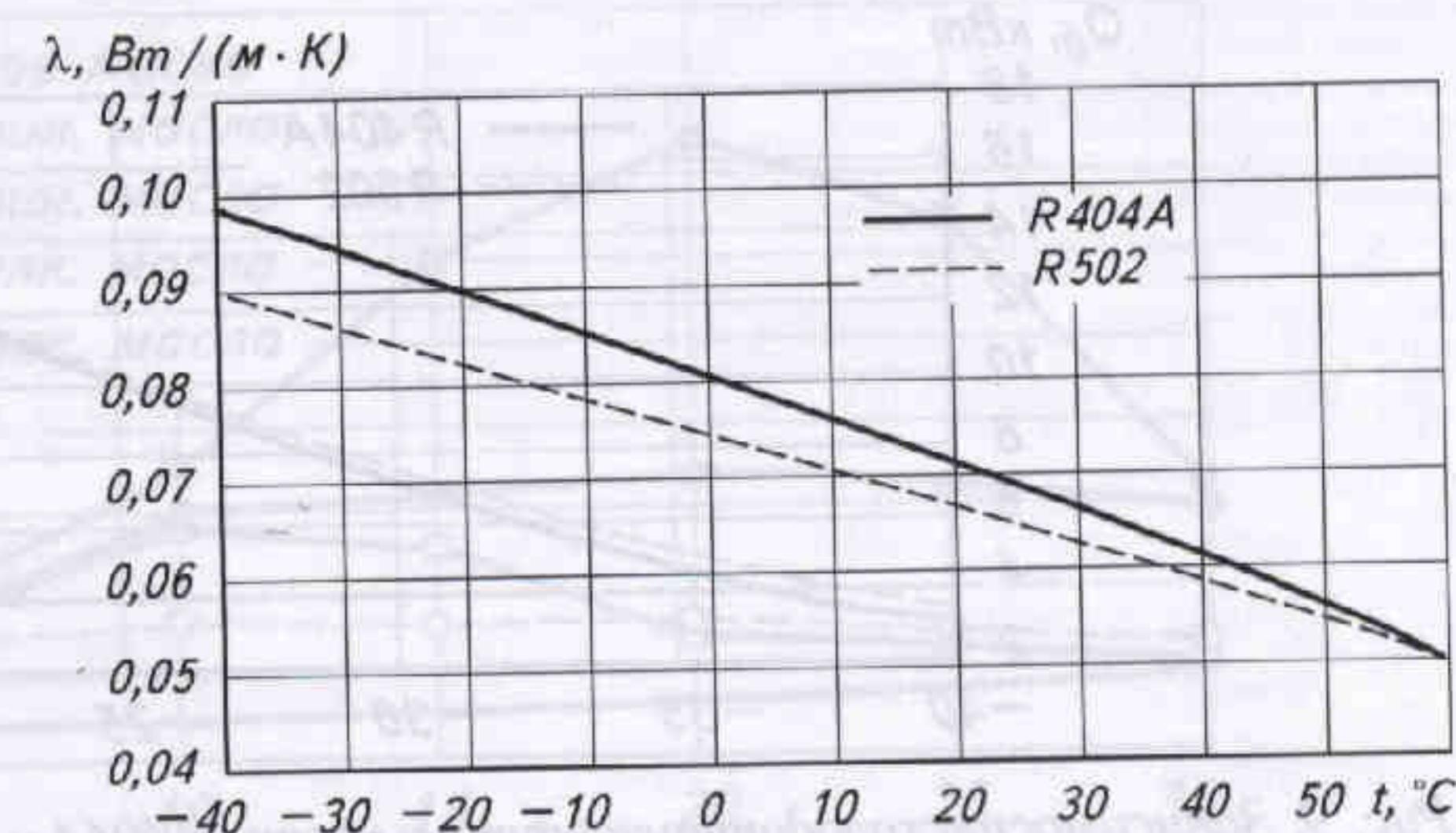


Рис. 5. Зависимость коэффициента теплопроводности насыщенной жидкости R404A и R502 от температуры

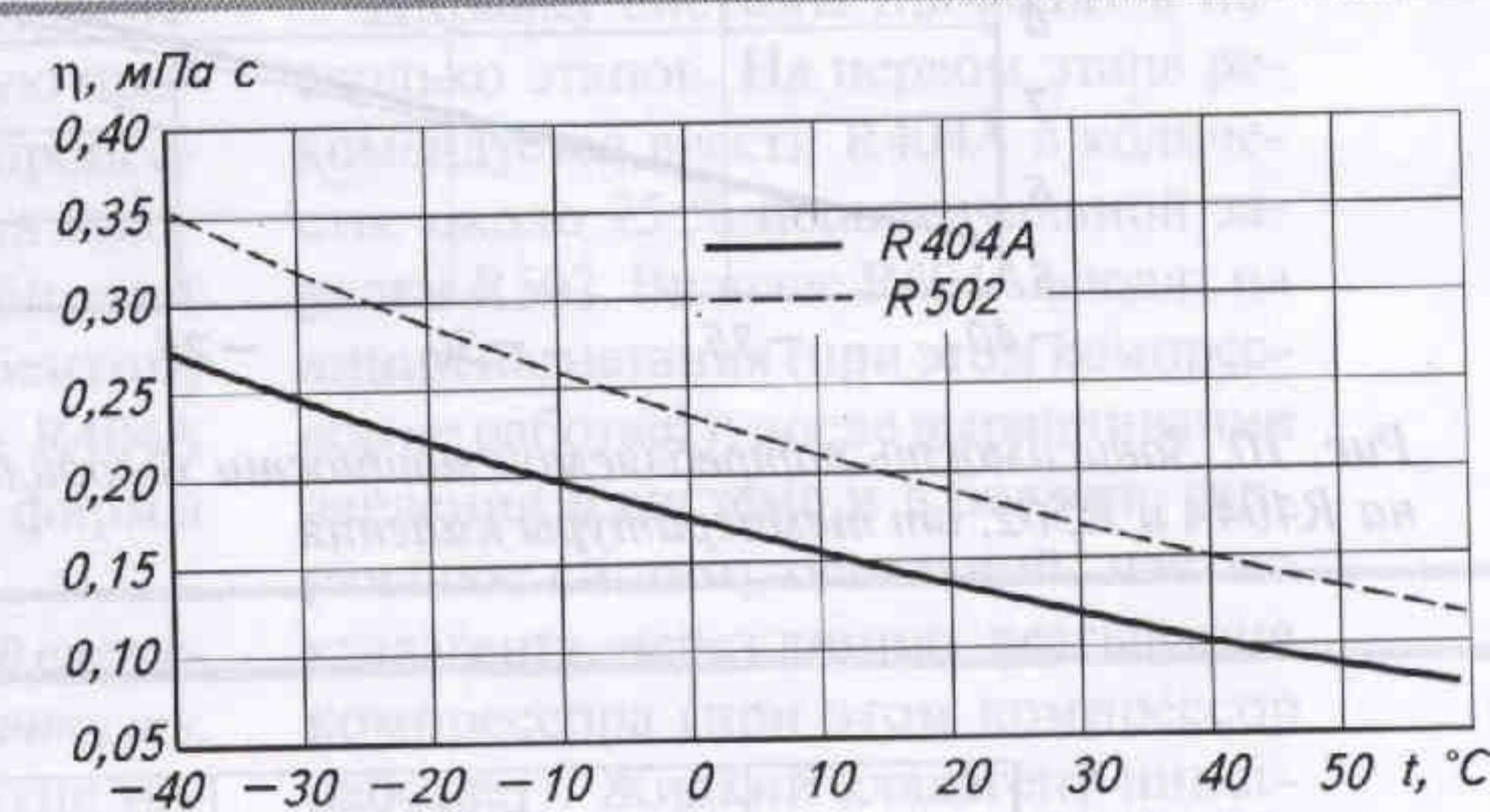


Рис. 6. Зависимость коэффициента динамической вязкости R404A и R502 от температуры

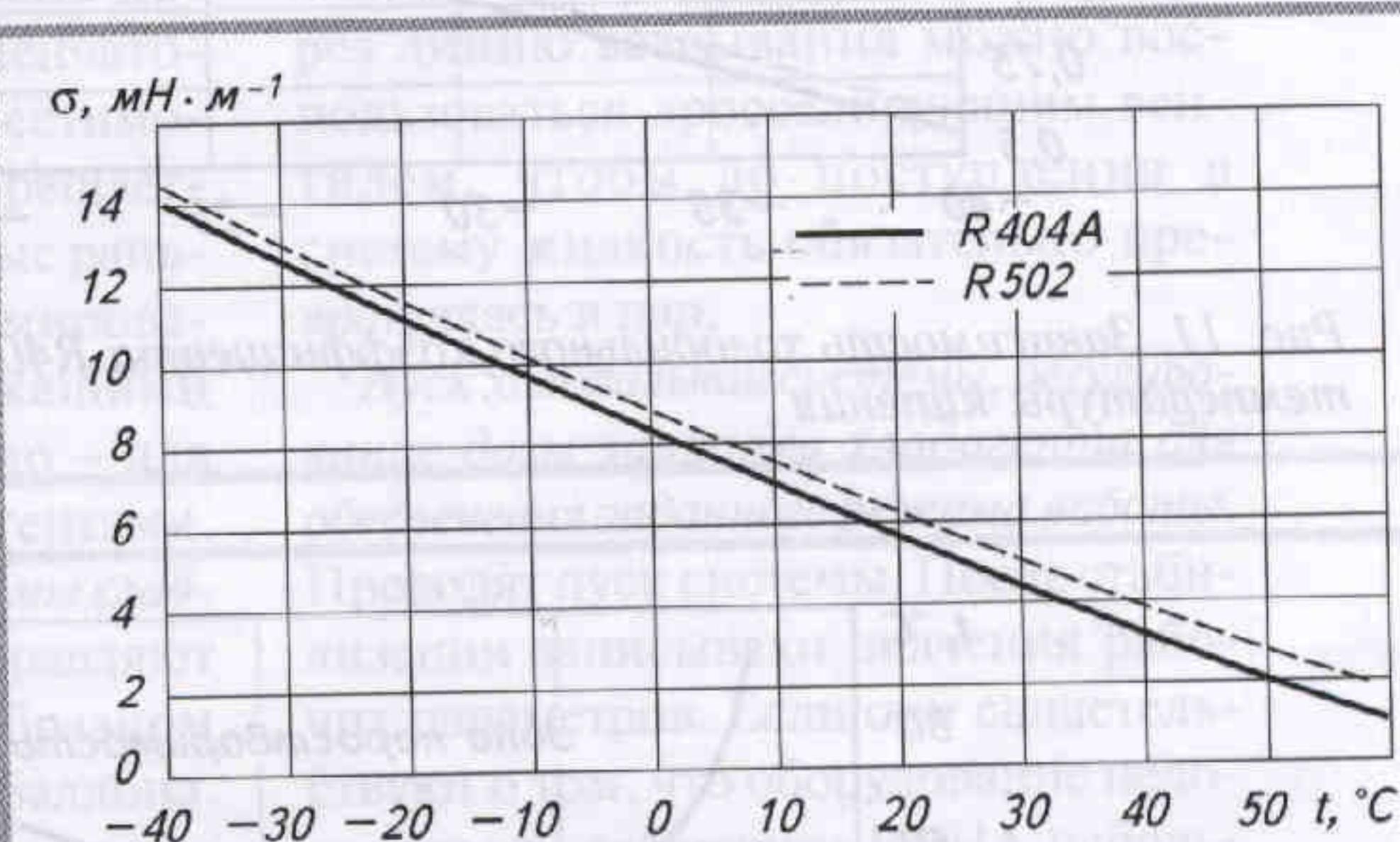


Рис. 7. Зависимость поверхностного натяжения R404A и R502 от температуры

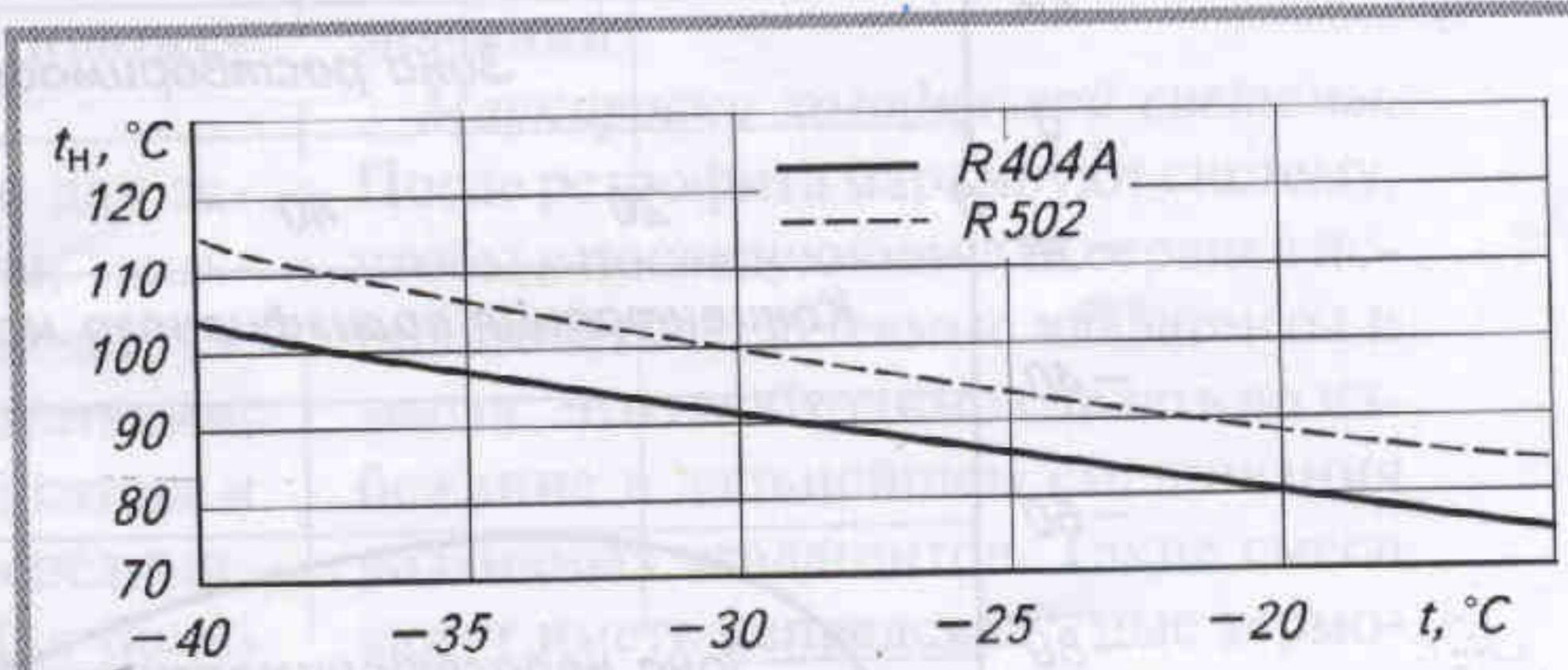


Рис. 8. Зависимость температуры нагнетания R404A и R502 от температуры

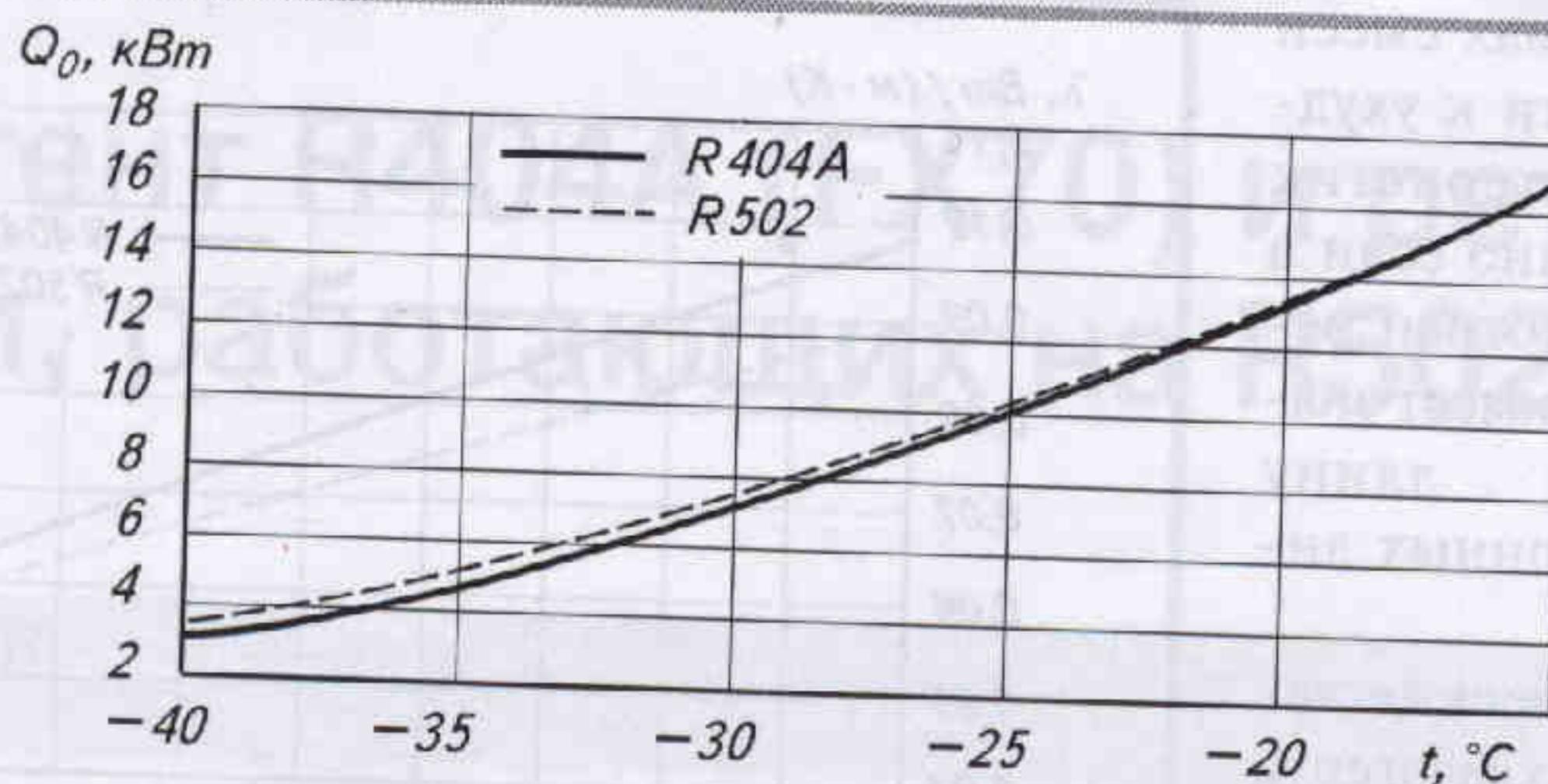


Рис. 9. Зависимость холодопроизводительности R404A и R502 от температуры кипения

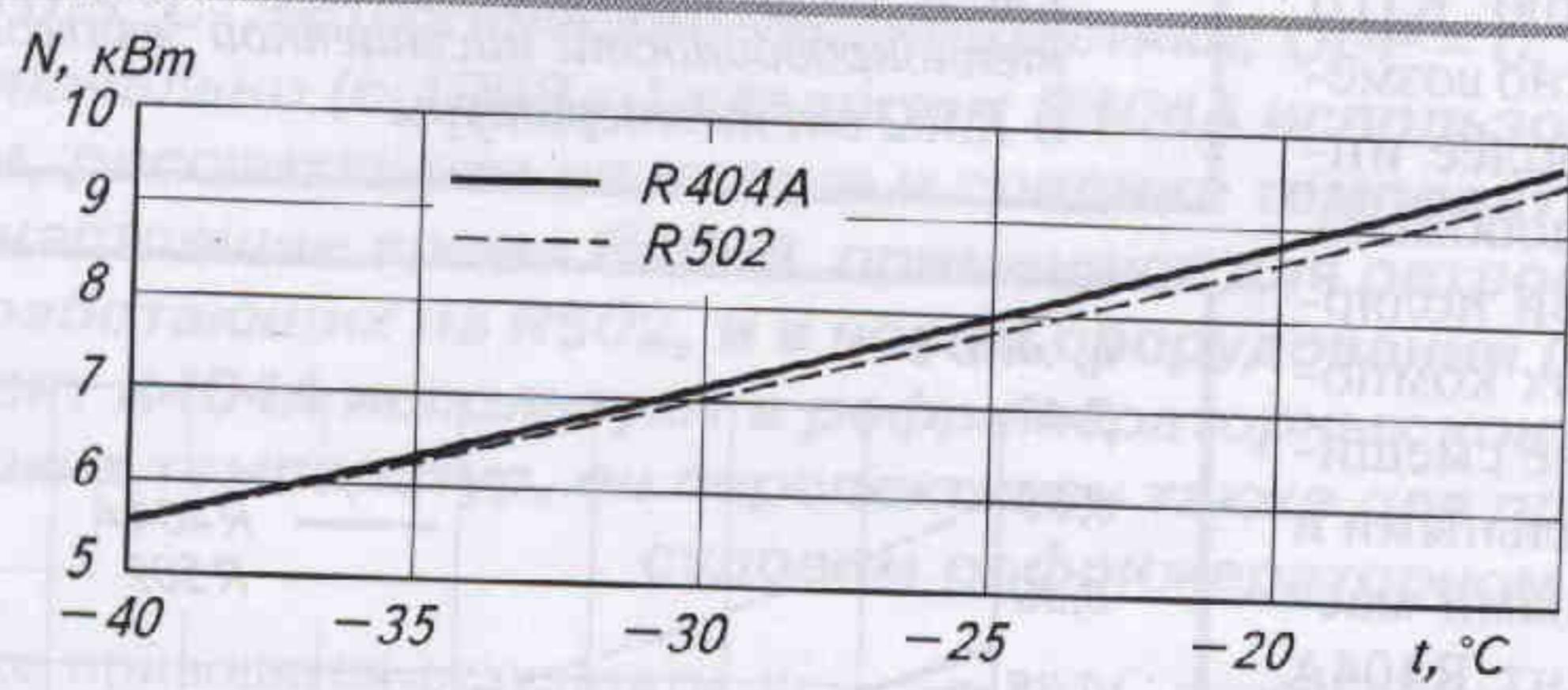


Рис. 10. Зависимость потребляемой мощности холодильной системы, работающей на R404A и R502, от температуры кипения

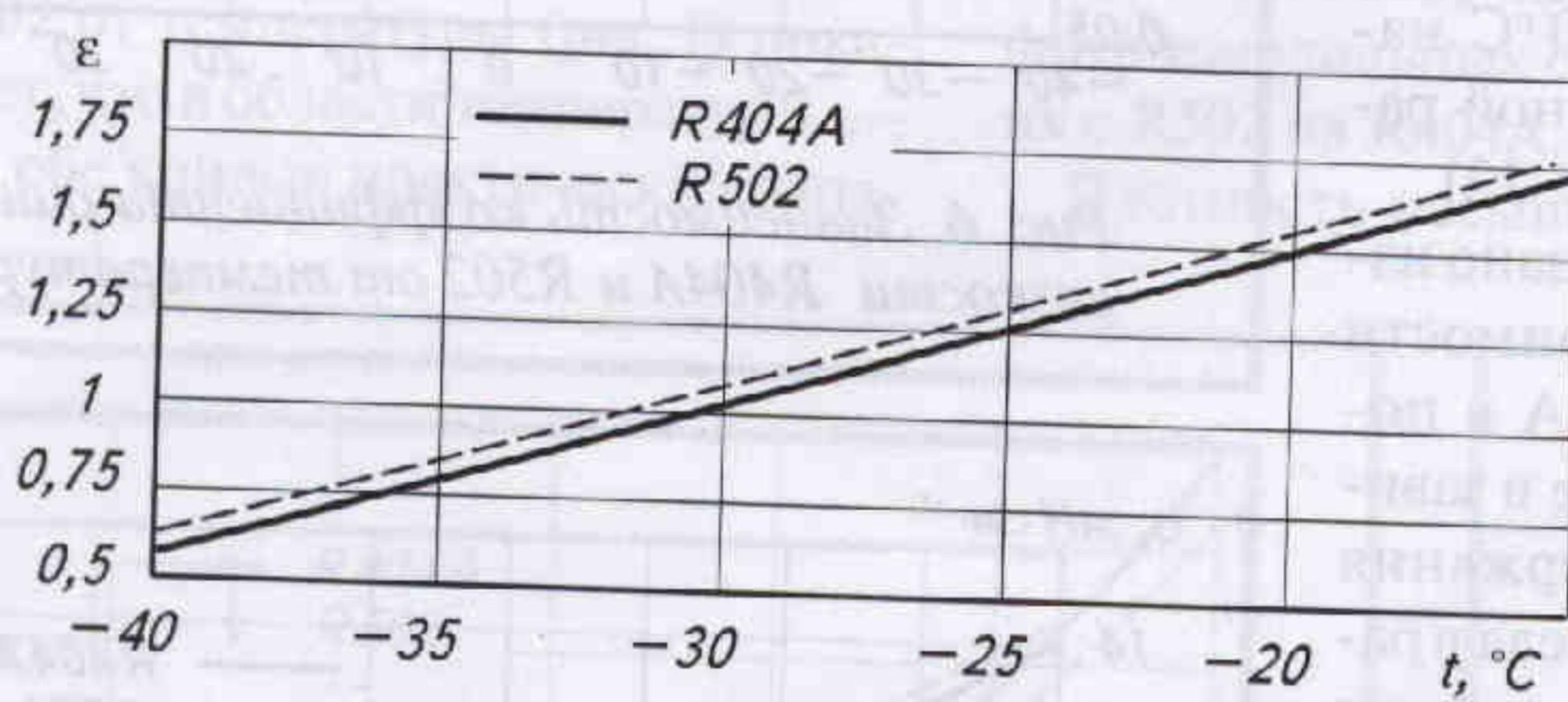


Рис. 11. Зависимость холодильного коэффициента R404A и R502 от температуры кипения

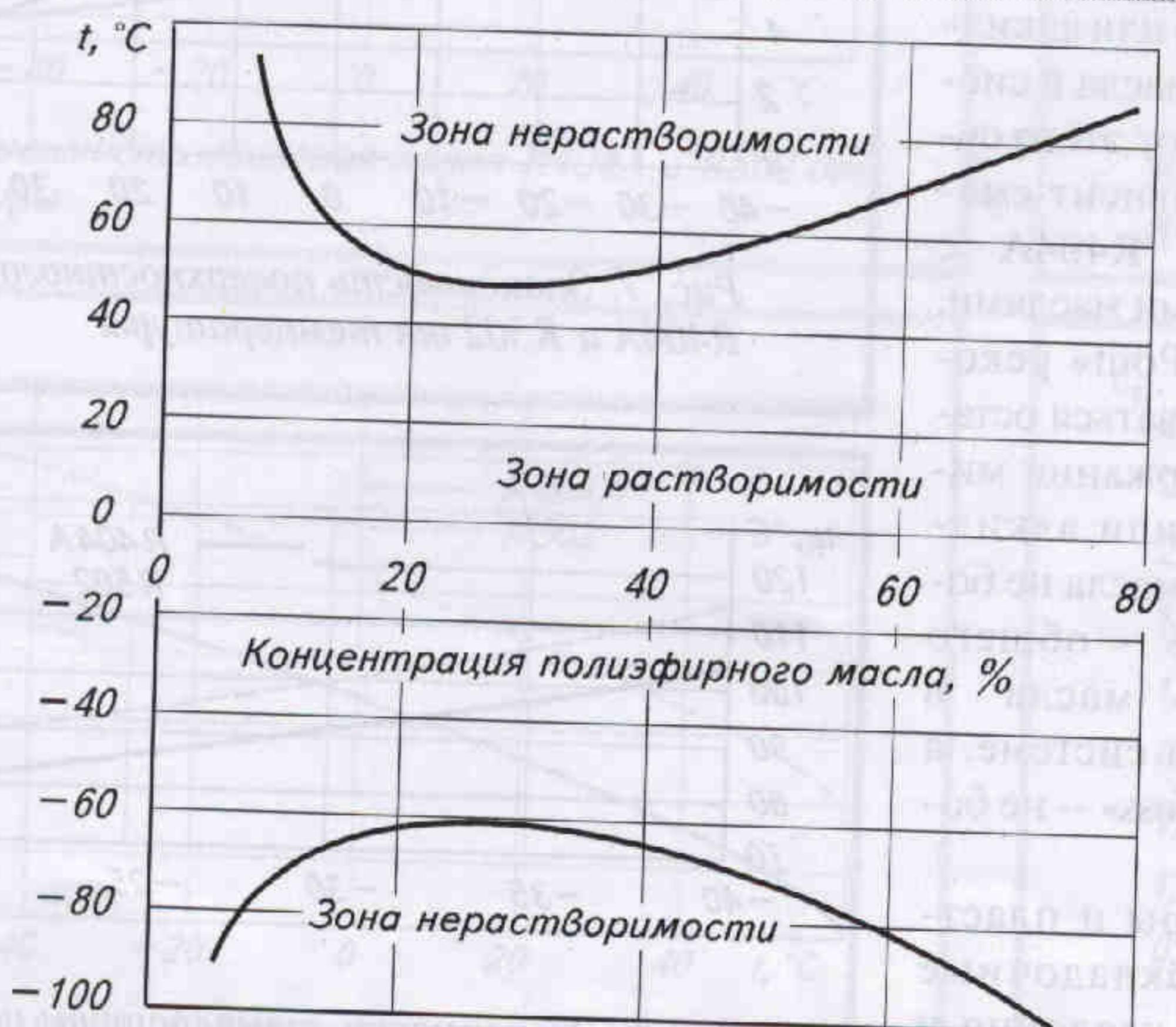


Рис. 12. Растворимость R404A в полиэфирном масле

контактируют со смесью хладагента и масла. Чтобы оценить химическую стабильность эластомеров и пластмасс при контакте со смесью R404A+полиэфирное масло, фирмой ATOFINA были проведены испытания в соответствии с требованиями стандарта NFT 46013 (продолжительность испытаний 7 сут при температуре 60 °C). Тесты проводили со следующими марками эластомеров: EPDM, NEOPRENE, NBR, HYPALON, HNBR— и пластмасс: PA 6/6, PET, PTFE. Как показали результаты испытаний, изменения геометрических параметров, механических свойств и массы эластомеров и пластмасс под воздействием смеси R404A + полиэфирное масло примерно такие же, как и под воздействием смеси R502 + минеральное масло.

Основные этапы ретрофита холодильных систем при переводе их с R502 на R404A следующие.

Определение рабочих параметров действующей холодильной системы. Определяют и записывают параметры холодильной системы, работающей на R502. В особенности это рекомендуется тем, кто только начинает заниматься ретрофитом оборудования.

Замена в холодильной системе минерального или алкилбензольного масла на полиэфирное. При замене минерального или алкилбензольного масла в системе оставляют хладагент R502, направляя его в ресивер. В системах с небольшими герметичными компрессорами, где нет отверстия для слива масла, для извлечения масла из компрессора может потребоваться его демонтаж. В подобных случаях масло можно слить из линии всасывания компрессора. В большинстве небольших систем таким образом удается удалить до 90–95 % масла. Если система включает маслоотделитель, то все находящееся в нем масло сливают.

После этого измеряют количество собранного масла (не менее 50 %) и сравнивают его со значением, приведенным в спецификации на оборудование, чтобы убедиться, что основная часть масла слита из компрессора. Записывают, сколько масла удалено из системы. Затем заправляют компрессор полиэфирным маслом в необходимом количестве, равном количеству масла, уда-

ленному на предыдущем этапе. Если нет каких-либо дополнительных рекомендаций завода-изготовителя, используют полиэфирное масло той же вязкости, что и минеральное или алкилбензольное. Чтобы добиться совместимости R404A с полиэфирным маслом, эквивалентной смешиваемости R502 с минеральным или алкилбензольным, остаток минерального или алкилбензольного масла должен составлять не более 5% общего количества масла. Такой остаточный уровень достигается путем многократной промывки системы полиэфирным маслом, при этом может потребоваться до трех промывок.

Промывка холодильной системы предусматривает:

- удаление хладагента R502 в ресивер;
- слив масла из системы по технологии, описанной выше;
- выбор полиэфирного масла, вязкость которого должна быть равна вязкости минерального или алкилбензольного масла, слитого из системы;
- заправку системы полиэфирным маслом в количестве, равном количеству удаленного минерального или алкилбензольного масла;
- включение системы в работу с R502 для тщательного перемешивания полиэфирного и минерального масел. Система должна проработать более 24 ч.

Все перечисленные этапы повторяют еще два раза. При последующей промывке заменяют R502 на R404A. На этом же этапе устанавливают на место компрессор, если он был снят с холодильного агрегата для слива масла.

Удаление хладагента R502 из холодильной системы и его утилизация. R502 удаляют из системы и собирают в баллон для сбора хладагента. Существуют различные варианты устройств, позволяющих провести эту процедуру и создать необходимый вакуум в системе (34...67 кПа). На этом этапе взвешивают удаленный хладагент (особенно если неизвестно количество хладагента, которое рекомендуется заправить в систему). Начальную зарядку сервисной смеси определяют, исходя из количества R502, удаленного из системы. Остаточное содержание R502 в контуре не должно превышать 0,02%.



Рис. 13. Совместимость R404A с маслами

Замена фильтра-осушителя. Замена фильтра-осушителя при ретрофите представляет собой обычную процедуру, которую проводят в процессе технического обслуживания холодильной системы. Выбирают фильтр-осушитель с адсорбентом, совместимым с хладагентом R404A (например, XH-9 или XH-7 фирмы UOP).

Вакуумирование холодильной системы и проверка ее на герметичность. Чтобы удалить воздух и другие неконденсирующиеся газы, систему вакуумируют до давления 0,14 кПа и убеждаются в ее герметичности. Наилучшего результата можно добиться с помощью двухступенчатого вакуумного насоса, совместимого с хладагентом R404A. Запрещается применять насосы, которые раньше использовали для вакуумирования контуров с хлорсодержащими хладагентами или поочередно — для работы с различными хладагентами.

Заправка холодильной системы хладагентом R404A. Систему заправляют хладагентом R404A в газообразном или жидкоком состоянии из баллона. Баллоны с R404A многократного пользования оснащены погружными трубками. Это создает условия для извлечения жидкости из баллона, находящегося в вертикальном положении.

Масса R404A, требуемого для зарядки холодильной системы, меньше, чем у R502. Оптимальная загрузка зависит от условий эксплуатации, размеров испарителя, конденсатора и ресивера, а также от длины соединительных труб в системе. Для большинства типов оборудования оптимальное количество хладагента составляет 75–90% первоначальной зарядки R502, которую осуществил

производитель оборудования.

Заправку системы проводят в несколько этапов. На первом этапе рекомендуется ввести R404A в количестве около 75% первоначальной зарядки R502. Вначале R404A вводят на линии нагнетания (при этом компрессор не работает); после выравнивания давления в системе и в баллоне заправляют систему остальной частью хладагента через линию всасывания компрессора (при этом компрессор работает). Жидкий хладагент никогда не должен поступать через линию всасывания компрессора из-за опасности гидравлического удара. При необходимости заправки хладагента через линию всасывания можно воспользоваться дросселирующим вентилем, чтобы до поступления в систему жидкость обязательно превращалась в пар.

Пуск холодильной системы, регулирование дозы заправки хладагента для обеспечения заданного режима работы. Проводят пуск системы. После стабилизации записывают значения рабочих параметров. Если они свидетельствуют о том, что оборудование недозаряжено, добавляют R404A небольшими порциями (3–5% первоначальной зарядки), пока рабочие параметры не достигнут желаемых значений.

Маркировка холодильной системы. После ретрофита маркируют систему, чтобы в последующем для сервиса использовать те же самые хладагенты и масла. Это необходимо сделать во избежание в дальнейшем смешивания различных хладагентов. Такие смеси могут иметь непредсказуемые термодинамические характеристики, что приведет к уменьшению холодопроизводительности и падению эффективности работы системы.