

Анализ потребления электроэнергии низкотемпературными установками супермаркетов

Лами Сильвейн, Emerson Climate Technologies/ Copeland

Как известно, для производства холода в пищевой промышленности потребляется значительное количество электроэнергии. Недавнее подписание Киотского протокола и прогрессирующий рост стоимости энергии для промышленных предприятий Европы еще раз подтверждают необходимость проектирования и применения энергетически эффективного холодильного оборудования и его компонентов. Copeland предлагает различные типы продукции, позволяющие клиенту повысить энергетическую эффективность предприятия. Один из недавних примеров – появление нового спирального компрессора Copeland с впрыском пара для применения в низкотемпературных установках.

Чтобы помочь производителям оборудования и конечным потребителям в принятии лучшего решения по подбору наиболее энергетически эффективных компрессоров, Copeland совместно с одной из консалтинговых компаний смоделировал потребление электроэнергии низкотемпературными холодильными установками, используемыми в типовых супермаркетах и спроектированными на базе компрессоров различных типов от нескольких производителей. Эта статья объединяет результаты сравнительного энергетического анализа, а также демонстрирует выгоду для конечного потребителя от их применения.

Супермаркеты – наиболее интенсивные потребители энергии из всех коммерческих предприятий

Приблизительно 10-15% энергии, производимой в индустриально развитых странах, расходуется на

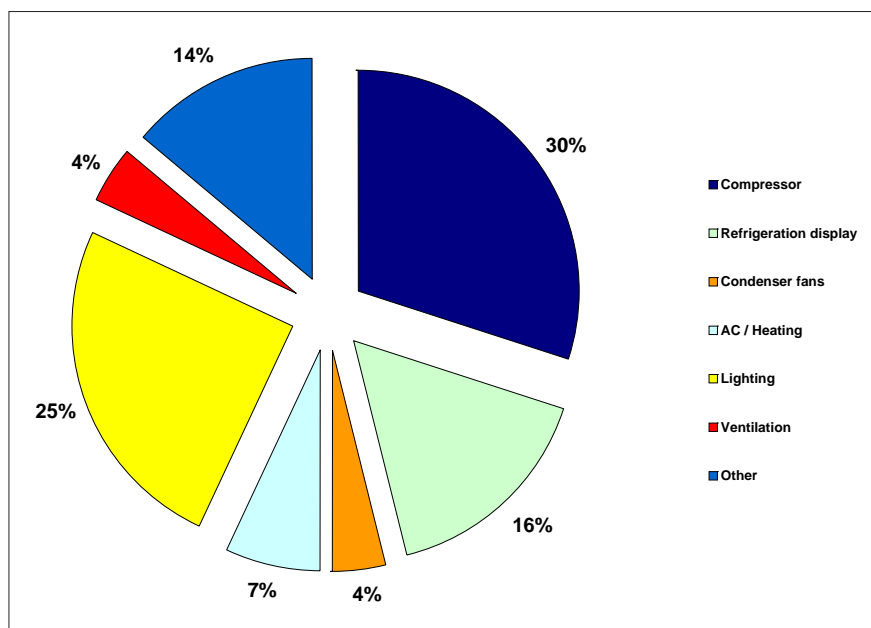


Рис.1. Распределение потребления электроэнергии в супермаркете

нужды кондиционирования и холодильной техники. При этом супермаркеты – безусловно крупнейшие потребители электроэнергии.

Из рис.1 видно, что половина энергии, расходуемой супермаркетом, идет на холодильную обработку продуктов (компрессоры, витрины и вентиляторы конденсаторов). При этом компрессоры потребляют 30% от общего расхода электроэнергии.

Годовые расходы на электроэнергию в больших супермаркетах могут составить до 1% от общего дохода. Причем сокращение энергопотребления на 50% приводит к 15%-ному увеличению прибыли для средней сети супермаркетов. К сожалению, столь выгодная экономия энергии часто находится в противоречии с идеей привлечения дешевых инвестиций. Однако анализ ситуации за прошедшие несколько лет продемонстрировал, что существуют многочисленные возможности для

существенного снижения потребления энергии одновременно с уменьшением капитальных затрат.

Новые спиральные компрессоры Copeland с впрыском пара (EVI) сопоставимы по эффективности с полугерметичными компрессорами Discus

Copeland недавно представил новый ряд низкотемпературных спиральных компрессоров. Оптимизированные для получения полного преимущества от переохлаждения благодаря впрыску пара в процессе сжатия, эти компрессоры обеспечивают повышение производительности установки минимум на 40% при стандартных условиях по сравнению с обычными спиральными компрессорами. Это позволяет производителям создавать более компактное и менее металлоемкое холодильное оборудование, достигая существенной экономии стоимости



компрессорных станций при увеличении надежности систем, предлагаемых заказчиком.

Но основное преимущество новых компрессоров в том, что их эффективность сравнима с компрессорами Copeland Discus и даже превышает ее. Общеизвестно, что полугерметичные поршневые компрессоры Copeland Discus имеют самый высокий холодильный коэффициент по сравнению с другими марками одноступенчатых компрессоров. Эффективность спиральных компрессоров увеличена за счет применения технологии впрыска пара, что приводит к росту производительности на 40% и существенному снижению удельной потребляемой мощности.

Теоретические исследования подтверждаются результатами полевых испытаний спиральных компрессоров с впрыском пара

Новые спиральные компрессоры EVI были установлены в супермаркетах различных городов для проведения полевых испытаний в традиционных условиях эксплуатации. В одном из супермаркетов в Англии в течение полутора лет проводился мониторинг оценки энергетической эффективности. Установки с компрессорами EVI успешно проработали весь период, причем применение этих компрессоров привело к снижению на 11% затрат на электроэнергию по сравнению с низкотемпературными установками на стандартных компрессорах.

Еще один супермаркет, на юго-западе Франции, был оборудован новыми компрессорами Copeland. Перспективы экономии электроэнергии были столь многообещающими, что владелец получил государственное финансирование от агентства по охране окружающей среды и энергетике ADEME, общественной организации при Министерстве экологии, промышленности и науки Франции. Миссия ADEME состоит в том, чтобы убеждать промышленные предприятия через стимулирующие программы в продвижении проектов, ориентированных на защиту окружающей среды и ра-

циональное использование энергии, и координировать их действия.

Параллельно с проведением полевых испытаний Copeland при помощи независимых консультантов анализировал энергопотребление многокомпрессорных станций на базе спиральных компрессоров с впрыском пара и станций на базе компрессоров других торговых марок и типов. Исследование базировалось на данных о работе холодильных установок действующих супермаркетов, которые предварительно были проверены независимым консультантом, гарантирующим соответствие условий испытания действительным рабочим условиям.

Объекты исследования выбирались по результатам предварительного мониторинга под руководством независимых консультантов, имеющих обширный опыт работы с малыми и средними розничными сетями.

Определяющие критерии исследования:

- *Климат.* Действительные параметры наружного воздуха соответствуют имеющимся данным для города, где расположен супермаркет. Было приведено 300 замеров температуры воздуха.

- *Компрессоры.* Характеристики компрессоров различных производителей взяты из доступных программ подбора.

- *Конденсаторы.* Мощность, потребляемая вентиляторами конденсаторов, составляет в среднем 4% от общего потребления (см. рис.1). Потребление электрической энергии вентиляторами рассчитывалось как при постоянном, так и при переменном давлении конденсации.

- *Нагрузка.* Учитывались работа в ночное/дневное время, выходные дни, наполняемость торгового зала, кондиционирование торговых площадей, нагрузка на охлаждаемые помещения и торговое оборудование.

- *Неизменяемые параметры.* Температура кипения в среднетемпературном режиме – минус 15⁰С, в низкотемпературном режиме – минус 38⁰С, перегрев 20К.

- *Стоимость электроэнергии.* Например, во Франции стоимость электроэнергии различна для дневного и ночного времени, а также для зимнего и летнего периодов. Усредненная величина составила 0,06 евро за 1 кВт·ч, являясь практически самой низкой усредненной ставкой в Европе, сопоставимой с российской. В Германии стоимость электроэнергии существенно выше.

Спиральные компрессоры с впрыском пара серии ZF EVI: сочетание преимуществ спиральной технологии с эффективностью, свойственной полугерметичным компрессорам

Предложенные далее расчеты проведены для супермаркетов, расположенных в районе Парижа. В каждом случае энергопотребление рассчитывалось для трех компрессорных станций: на базе новых спиральных компрессоров EVI с впрыском пара, на базе поршневых полугерметичных компрессоров Copeland Discus и на базе поршневых полугерметичных компрессоров других производителей.

Пример 1. Низкотемпературная станция номинальной производительностью 17кВт с зафиксированной температурой конденсации и без переохладителя между среднетемпературным (MT Circuit) и низкотемпературным (LT Circuit) контурами (рис.2).

Пример 2. Низкотемпературная станция номинальной производительностью 30кВт без переохладителя, но с переменной температурой конденсации (см. рис.2).

Пример 3. Полноценная холодильная установка с низкотемпературной и среднетемпературной станциями, с переменной температурой конденсации и переохладителем (Subcooler) между контурами (рис.3), за исключением станции на компрессорах с впрыском пара (Vapour Injection), которые имеют собственный переохладитель (рис.4).

Пример 1.

Супермаркет площадью 1500 кв. метров (расположен в Эври недалеко от Парижа). Система ох-



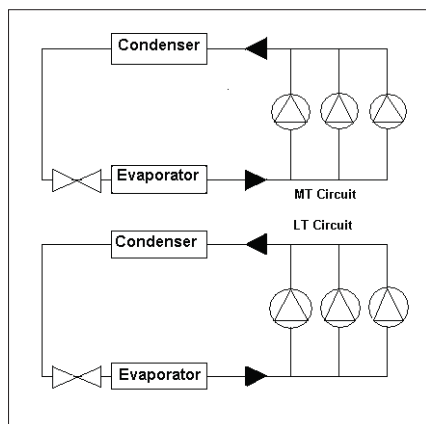


Рис. 2. Традиционная схема

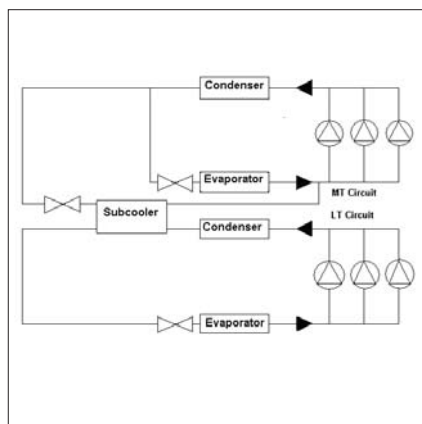


Рис. 3. Схема установки с переохладителем

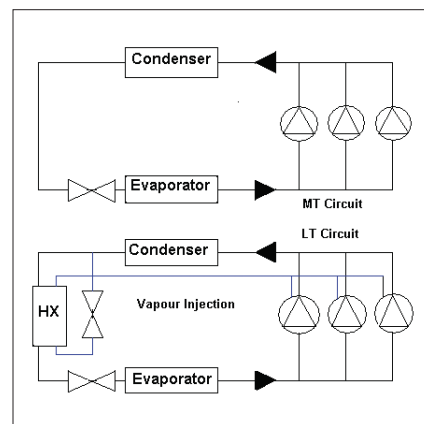


Рис. 4. Схема установки на базе спиральных компрессоров с впрыском пара

лаждения – с непосредственным кипением R404A. Требуемая холодопроизводительность в низкотемпературном режиме составляет 17кВт. Все станции состоят из трех компрессоров. Температура кипения -38°C , общий перегрев 20К. Система работает без переохладителя между среднетемпературным и низкотемпературным контуром. Температура конденсации зафиксирована и составляет $+40^{\circ}\text{C}$ с дифференциалом 12К.

На рис.5 показан ежемесячный расход электроэнергии (в МВт·ч) для трех различных компрессорных станций. В заданных ранее условиях станция с впрыском пара потребляет 104 МВт·ч ежемесячно, включая вентиляторы конденсаторов. В этих же условиях станция на базе пор-

шневых компрессоров Discus потребляет на 4% больше – 109 МВт·ч, а станция на базе поршневых компрессоров другого производителя – на 12% больше – 117 МВт·ч. Как видно, существует возможность заметного снижения стоимости эксплуатации, что особенно важно на фоне неуклонного роста платы за электроэнергию в Европе в последние годы.

Диаграмма на рис.5 показывает, что экономия при использовании спиральных компрессоров с впрыском пара возрастает именно в самые жаркие месяцы года. Это происходит благодаря тому, что позитивный эффект от переохлаждения пропорционален соотношению давлений конденсации и кипения ($P_{\text{конд}}/P_{\text{кип}}$).

Таким образом, спиральные компрессоры нового поколения обеспечивают наилучшую сезонную эффективность работы предприятий торговли при эксплуатации оборудования в странах с жарким климатом при работе холодильной установки с фиксированной температурой конденсации.

Однако, как демонстрирует пример 2 (см.ниже), эффективность спиральных компрессоров с впрыском пара сравнима с эффективностью компрессоров Discus при переменном давлении конденсации.

Пример 2.

Супермаркет общей площадью 1500 кв. метров (расположен в Париже). Система охлаждения – с непосредственным кипением

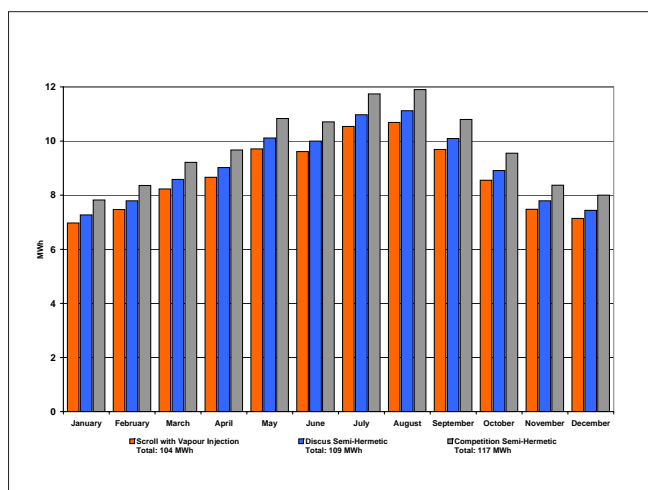


Рис.5. Ежемесячное энергопотребление низкотемпературных холодильных станций на базе компрессоров разных типов/ разных производителей при температуре конденсации $+40^{\circ}\text{C}$

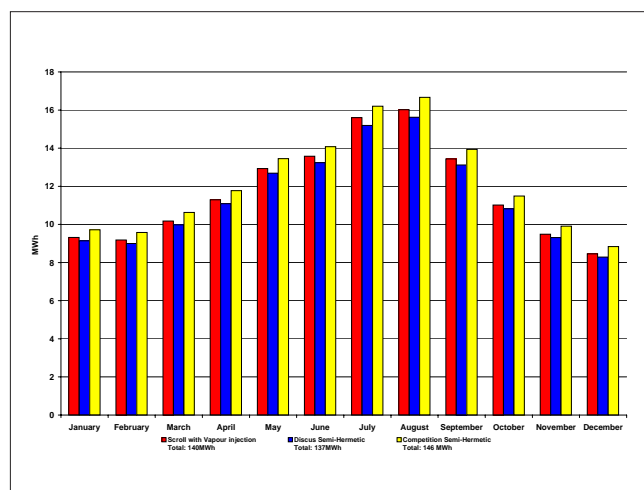


Рис. 6. Ежемесячное энергопотребление низкотемпературных холодильных станций на базе компрессоров разных типов/ разных производителей при переменной температуре конденсации



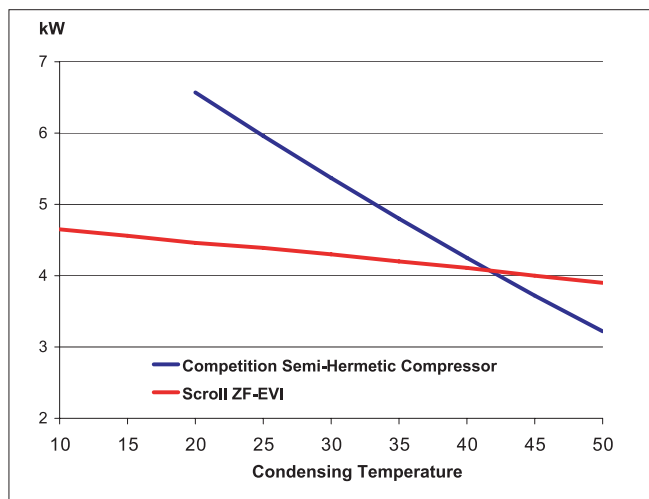


Рис.7. Изменение холодопроизводительности спиральных компрессоров с впрыском пара EVI и поршневых полугерметичных компрессоров при различной температуре наружного воздуха. Холодопроизводительность 4 кВт при стандартных условиях EN12900

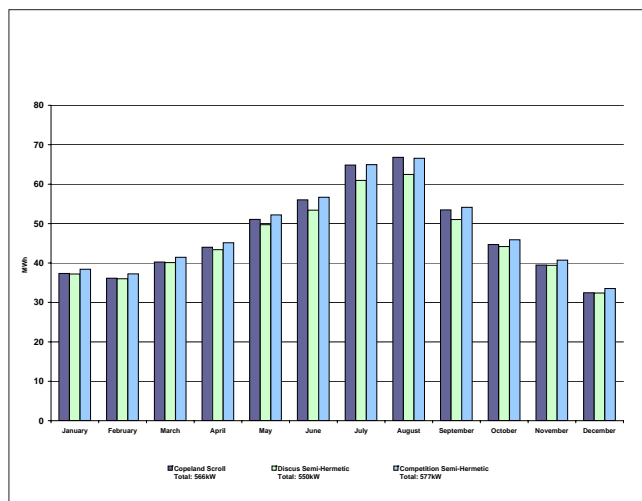


Рис. 8 Сравнение энергопотребления холодильных систем с переохладителем, имеющих в составе средне- и низкотемпературные установки, на базе компрессоров различных типов/разных производителей при переменной температуре конденсации

R404A. Требуемая холодопроизводительность в низкотемпературном режиме составляет 30кВт. Все станции собраны на базе трех компрессоров, температура кипения -38°C , перегрев 20К. Система – без переохладителя между среднетемпературным и низкотемпературным контурами, температура конденсации переменная.

Диаграмма на рис.6 показывает ежемесячный расход электроэнергии (в МВт·ч) для трех различных станций. В заданных ранее условиях станция с впрыском пара потребляет 140 МВт·ч ежемесячно, включая вентиляторы конденсаторов. В этих же условиях станция на базе поршневых компрессоров Discus потребляет 137 МВт·ч (на 2% меньше), а станция на базе поршневых компрессоров другого производителя – 146 МВт·ч (на 4% больше).

С появлением спирального компрессора с впрыском пара спиральная технология становится сравнимой с технологией поршневых компрессоров Discus по сезонной эффективности, но превосходит поршневые полугерметичные компрессоры других производителей.

Следует обратить внимание на важный факт, не нашедший отражения выше, но также имеющий большое значение. Общий

эффект переохлаждения и технология впрыска пара позволяют поддерживать холодопроизводительность системы практически постоянной при изменяющихся параметрах наружного воздуха в отличие от одноступенчатых поршневых компрессоров, у которых производительность существенно варьируется (рис.7). Для владельца супермаркета график изменения производительности станций со спиральными компрессорами EVI более предпочтителен, так как обеспечивает оптимальные условия хранения продукции в течение всего года и позволяет быть спокойным за надежность и долговечность холодильного оборудования, благодаря стабильной работе. Это объясняется следующим.

- В зимний период компрессоры функционируют с меньшей цикличностью работы компрессоров, что позволяет получить прибыль вследствие упрощения системы управления, повышения надежности и уменьшения потребляемой мощности оборудования. Снижение цикличности приводит к более постоянному расходу холодильного агента на линии всасывания, что гарантирует лучший возврат масла в компрессоры.

- В летний период, когда наружная температура достигает более

высоких значений, меньше опасность нехватки мощности и потери замороженных продуктов. Это наиболее безопасное решение для супермаркетов.

Пример 3.

Супермаркет общей площадью 1200 кв. метров (расположен в пригороде Парижа). Холодильная установка работает на R404A. Используются две станции (среднетемпературная и низкотемпературная) на базе полугерметичных компрессоров с переохладителем между контурами. Такое решение позволило снизить стоимость холода для низкотемпературного торгового оборудования. Холодильные станции включают спиральные компрессоры серии ZB для среднетемпературного контура и серии ZF с впрыском пара для низкотемпературного контура. Поскольку для спиральных компрессоров с впрыском пара используется интегрированный в контур теплообменник, то переохладитель между среднетемпературным и низкотемпературным контурами не устанавливался. Температура конденсации переменная.

Требуемая холодопроизводительность в среднетемпературном режиме составила 122кВт, температура кипения -15°C , в низкотемпературном режиме холодопроизводительность



**Общие годовые расходы на электроэнергию сети
из 100 магазинов во Франции**

Холодильная станция	Общая стоимость электроэнергии, евро	Экономия, евро
На базе поршневых компрессоров с промежуточным переохладителем	2 525 423	Базовый уровень
На базе компрессоров Discus с промежуточным переохладителем	2 419 610	105 813
На базе спиральных компрессоров ZB и ZF EVI, без промежуточного переохладителя	2 470 152	55 271

23кВт, температура кипения -38°C . Перегрев на всасывании 20К.

Диаграмма на рис.8 показывает, что при заданных условиях станция с впрыском пара потребляет 566 МВт·ч ежемесячно, включая вентиляторы конденсаторов. В этих же условиях станция на базе поршневых компрессоров Discus потребляет 550 МВт·ч (на 3% меньше), а станция на базе поршневых компрессоров другого производителя – 577 МВт·ч (на 2% больше).

В таблице показаны эксплуатационные затраты предполагаемой торговой сети, состоящей из 100 продуктовых розничных магазинов на территории Франции. Как видно из таблицы, применение холодильных компрессорных станций на базе спиральных компрессоров EVI дает ежегодную экономию 55 000 евро, а применение компрессоров Discus приводит к снижению стоимости эксплуатации на 105 000 евро по сравнению с агрегатами на базе поршневых полугерметичных компрессоров других производителей. Эти данные базируются на стоимости электроэнергии, поставляемой фирмой EDF (основным поставщиком во Франции). Для Италии и Германии, где стоимость электроэнергии почти в два раза выше, экономия еще больше.

Данные, представленные в таблице, подчеркивают тот факт, что применение в системах холодоснабжения супермаркетов компрессоров серии ZB и серии ZF с впрыском пара является оптимальным выбором для конечного потребителя, желающего свести к минимуму эксплуатационные затраты при надежной и стабильной работе холодильной системы в течение всего года.

С точки зрения потребления энергии, среднетемпературная станция на базе спиральных компрессоров серии ZB имеет наилучшие показатели, поскольку не требуется дополнительная мощность для работы на промежуточный теплообменник (переохладитель). Низкотемпературная станция на спиральных компрессорах с впрыском пара потребляет энергии немного больше, чем другие, поскольку не получает дополнительной мощности со стороны среднетемпературной станции через промежуточный переохладитель. В любом случае, эффективность холодильных систем на базе спиральной технологии сравнима с эффективностью систем на базе компрессоров Copeland Discus и гораздо выше, чем у систем на базе поршневых компрессоров других производителей.

С точки зрения капитальных затрат и затрат на монтаж, спиральные компрессоры с впрыском пара имеют огромное преимущество, поскольку не требуется завышать мощность среднетемпературной станции для работы на переохладитель между двумя контурами. Это вносит свой вклад в снижение стоимости и облегчает работы по монтажу.

Дополнительно, вследствие эффекта переохлаждения жидкости в экономайзере и впрыске пара в полость сжатия, системы со спиральным компрессором EVI имеют холодопроизводительность в среднем на 40% выше, чем системы со стандартными спиральными компрессорами серии ZF с впрыском жидкости. Это позволяет при проектировании подбирать меньшие по типоразмеру компрессоры и компоненты (кабели,

контакты и реле) или уменьшать количество компрессоров в станции той же производительности, что делает спиральную технологию даже более экономичной, чем это было прежде.

Как отмечено ранее, с точки зрения надежности, станция на спиральных компрессорах с впрыском пара обеспечивает лучшую сохранность продуктов в течение всего года благодаря своей более стабильной холодопроизводительности. В добавление следует заметить, что работа низкотемпературной станции супермаркета не зависит от работы среднетемпературной. Если по каким-либо причинам среднетемпературная станция перестает работать, то низкотемпературная станция продолжает работать, повышая надежность холодильной системы магазина в целом.

Выводы

До появления спирального компрессора с впрыском пара ни один низкотемпературный спиральный компрессор не мог достичь эффективности поршневого компрессора Copeland Discus. В статье показано, что сегодня это стало возможным, причем с любым алгоритмом контроля давления конденсации и в независимости от наличия переохладителя между среднетемпературным и низкотемпературным контурами.

Преследуя две цели – охрана окружающей среды и снижение издержек – владельцы супермаркетов в Европе стоят перед трудным выбором между минимизацией инвестиций и снижением стоимости эксплуатационных затрат на длительный период. С появлением второго поколения спиральных компрессоров серии ZB для среднетемпературного диапазона и серии ZF EVI с впрыском пара для низкотемпературных режимов такая дилемма более не существует. Спиральная технология одновременно: первое – предлагает меньшую стоимость оборудования по сравнению с поршневыми компрессорами и второе – сохраняет минимальный уровень годовых эксплуатационных затрат без потери надежности оборудования.

