

В настоящее время основным хладагентом, используемым в крупных промышленных холодильных установках, является аммиак. Это связано с его отличными термодинамическими свойствами и экологической безопасностью для окружающей среды. В то же время многие крупные холодильные станции размещаются в густонаселенных районах, что небезопасно для населения в случае аварийных выбросов аммиака. Для локализации и уменьшения выбросов в настоящее время используются различные технические решения:

- повышение надежности работы холодильной станции за счет автоматизации управления и контроля;
- уменьшение аммиакоемкости системы путем разделения ее на отдельные технологические блоки для минимизации единичной заправки установок;
- использование промежуточного хладоносителя и холодильных машин с дозированной заправкой;
- применение систем локализации аварийных выбросов и эвакуации аммиака из помещений холодильных станций (вентиляция, дренажные системы и т.д.);

Все перечисленные меры позволяют снизить опасность аварийных выбросов аммиака для населения, но не обеспечивают полную его защиту. В то же время названные меры приводят к существенному увеличению стоимости холодильной станции и в большинстве случаев к ухудшению ее энергетических и эксплуатационных показателей.

Как это ни странно, но техническое решение, лишенное перечисленных недостатков, известно очень давно.

Оно может быть реализовано с помощью CO_2 – диоксида углерода, который еще в конце XIX в. был применен в качестве хладагента для первых холодильных машин. Но от его использования пришлось отказаться из-за высокого давления конденсации (около 72 бар при температуре конденсации 30°C).

В последние годы во всем мире в связи с ужесточением требований к защите окружающей среды и населения появляется все больше новых и реконструированных каскадных холодильных систем, использующих традиционные хладагенты в верхней и диоксид углерода – в нижней ветви каскада. Это позволяет поддерживать давление диоксида углерода в пределах 5,5 ... 32 бар, что соответствует его температуре $-55 \dots -3^\circ\text{C}$.

Основным преимуществом такой схемы является минимальная заправка холодильной установки традиционным хладагентом. При этом она не зависит от общей емкости холодильной системы с учетом потребителей. Это решение позволяет, как минимум, на порядок снизить количество хладагента в системе.

Кроме того, применение диоксида углерода в области относительно низких температур, где он особенно эффективен, приводит к ряду уникальных возможностей, связанных с его термодинамическими свойствами:

- достижение требуемой темпера-

туры в охлаждаемых объектах (до -55°C) при малых энергетических затратах;

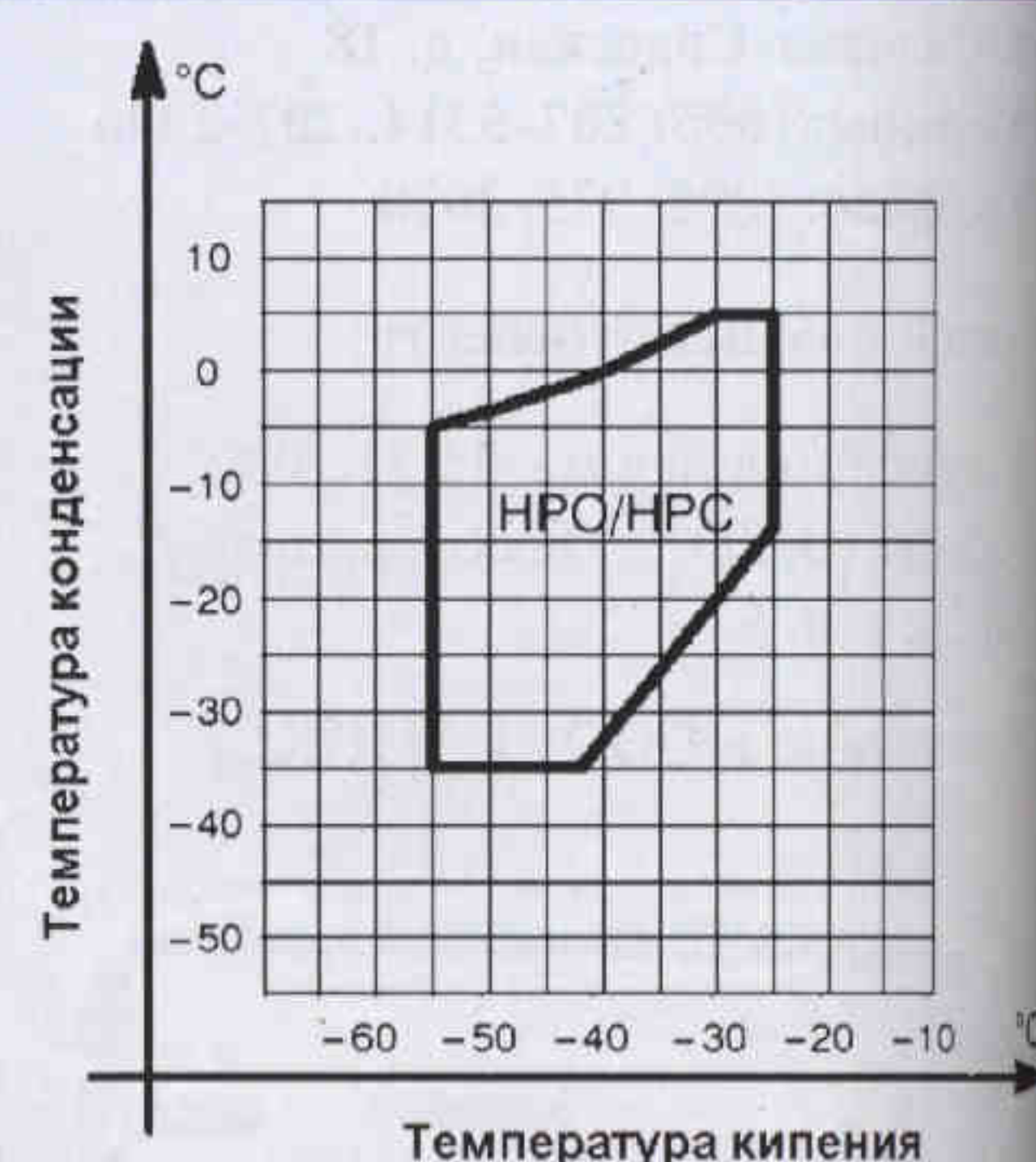
- меньшая материалоемкость и более компактное исполнение по сравнению с машинами, использующими традиционные хладагенты и хладоносители при прочих равных условиях;
- обеспечение высокой безопасности для окружающей среды и населения;

Эффективность применения того или иного вещества в качестве хладагента определяется его термодинамическими свойствами, в частности плотностью и скрытой теплотой парообразования: эффективность тем больше, чем выше значения этих параметров.

Другими словами, небольшой поршневой компрессорный агрегат, работающий на CO_2 , при одинаковых рабочих температурах обеспечит такую же холодопроизводительность, как и высокопроизводительный винтовой агрегат на традиционных хладагентах, в том числе и на аммиаке.

В нижней ветви каскада диоксид углерода может использоваться как хладагент или как "псевдохладоноситель".

В первом случае цикл нижней ветви каскада аналогичен циклу с традиционным хладагентом. Во втором случае



перспективное направление холодильной техники



Поршневые компрессорные агрегаты



Пластинчатый каскадный испаритель-конденсатор

теплопередача с изменением агрегатного состояния всегда эффективнее.

Холодильная машина с использованием CO_2 как «псевдохладоносителя» имеет не-

достатки, свойственные системам с промежуточным хладагентом: температура кипения хладагента (в верхней ветви каскада) ниже температуры хладоносителя, т.е. энергетическая целесообразность применения таких систем при температуре хладоносителя ниже -20°C невелика.

В настоящее время фирмой YORK освоено полный спектр стандартизированного и сертифицированного холодильного оборудования, предназначенного для каскадных систем, работающих на CO_2 .

Наиболее ответственным элементом подобной холодильной установки является компрессор для диоксида углерода. К нему предъявляются повышенные требования: работа при высоком давлении конденсации, низкой температуре всасывания и надежность. Компанией YORK специально разработаны серии поршневых HPO, HPC и винтовых RWB II, RXF компрессорных агрегатов, отличающихся усиленным исполнением корпуса, клапанной доски (для поршневых), специальным исполнением всасываю-

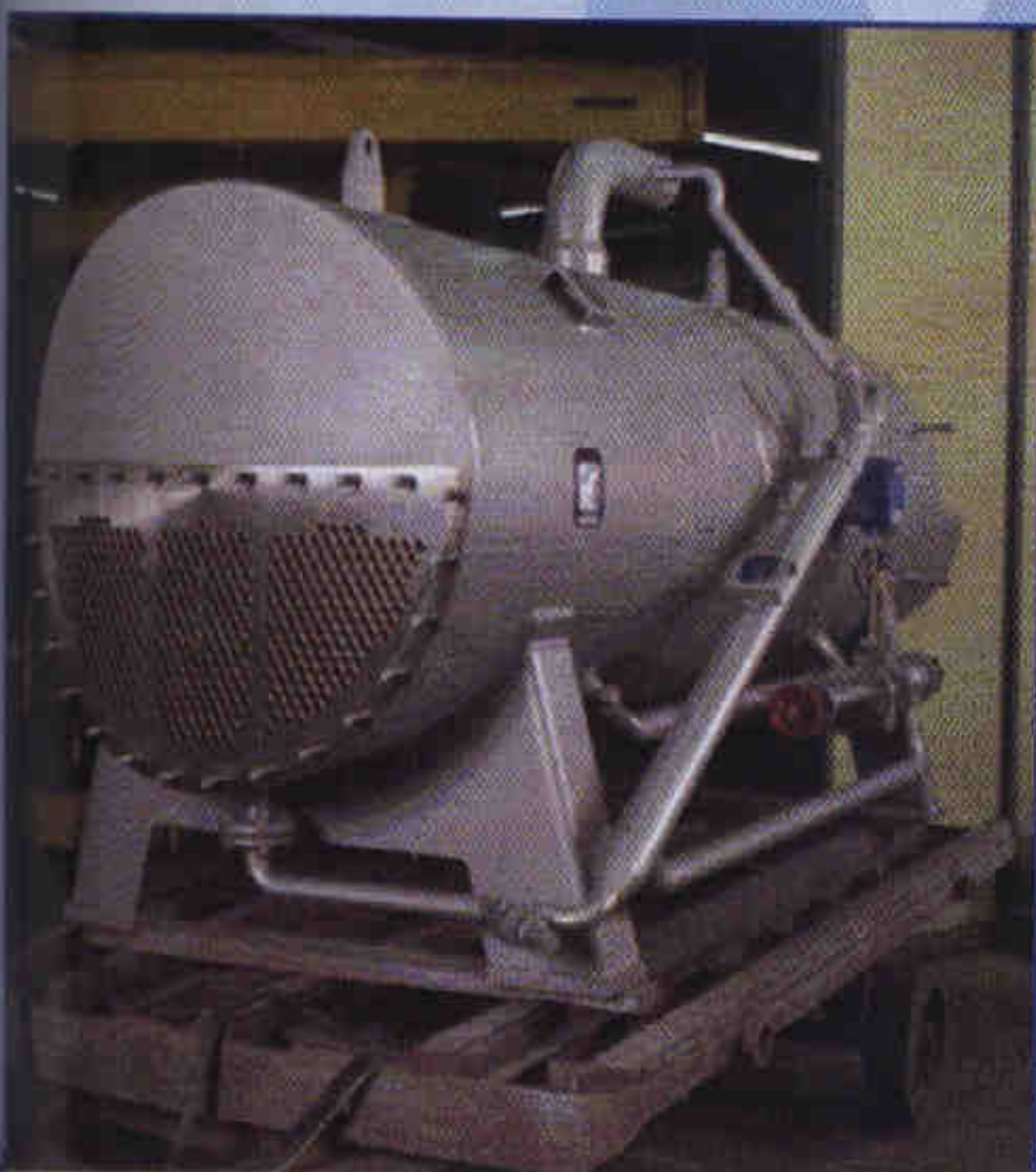
щей полости и панелью контроля и управления, оптимизированной для данного режима работы.

Отдельно следует отметить специально разработанный кожухотрубный теплообменник с межтрубным кипением, используемый в качестве испарителя-конденсатора в каскадных системах. Это теплообменник затопленного типа с пучком трубок малого диаметра для CO_2 , что позволяет снизить емкость верхней ветви каскада по хладагенту.

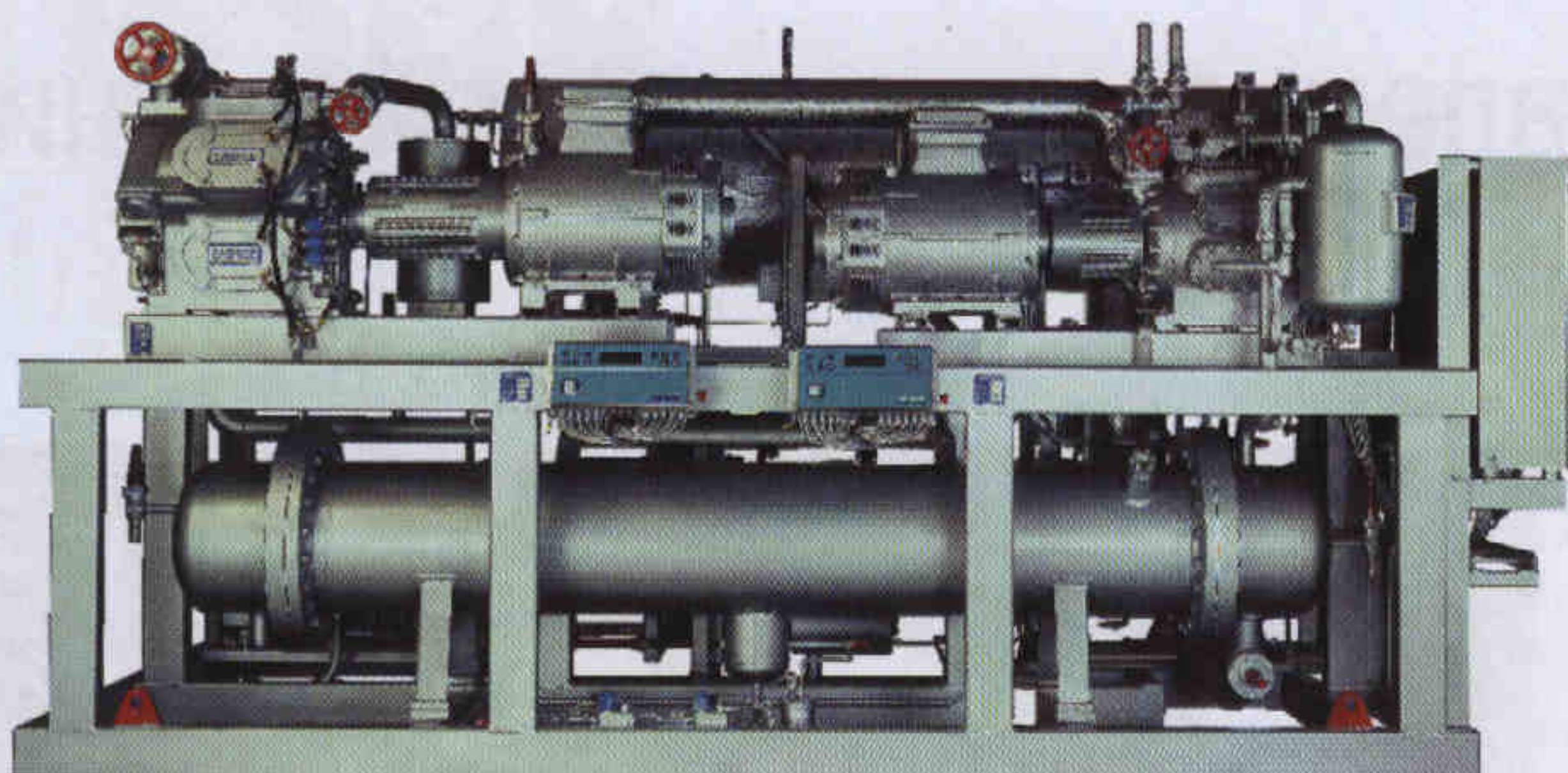
Фирма YORK выпускает сосуды низкого давления для нижней ветви каскадных систем с диоксидом углерода. Эти сосуды проходят специальную термообработку для работы при низких температурах (до -60°C). Они безопасны в эксплуатации при повышении давления в сосуде сверх рабочего значения.

Согласно последним требованиям PED (новых европейских правил для сосудов, работающих под давлением) расчетное давление для сосудов, а также клапанов, вентиля и др. составляет 40 бар. Это обстоятельство позволяет использовать стандартную арматуру в нижней ветви каскада на CO_2 .

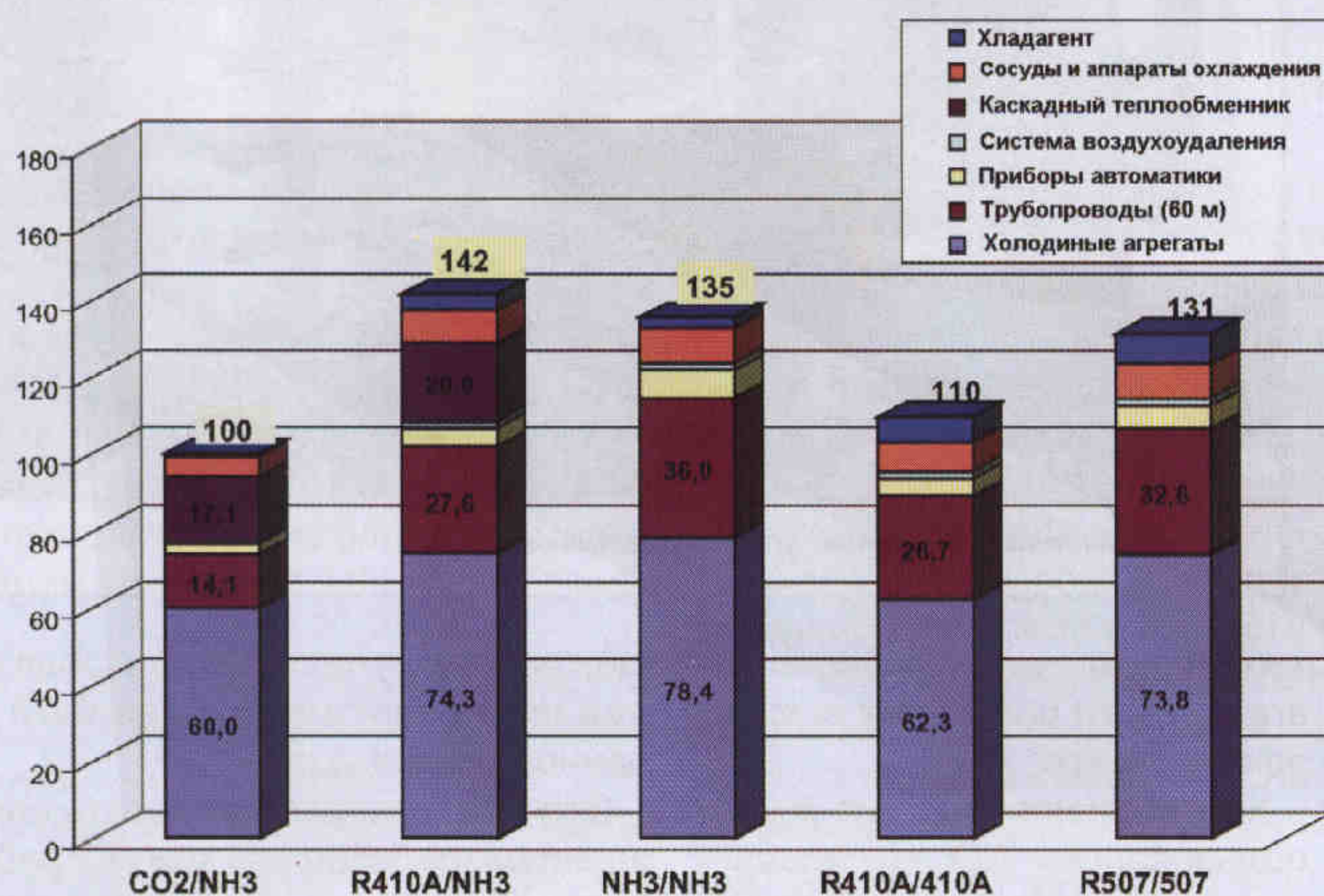
Кроме того, фирмой YORK разработан модельный ряд стандартных агрегатированных каскадных холодильных установок CAFP, в состав ко-



Кожухотрубный каскадный испаритель-конденсатор



Агрегативная каскадная холодильная установка CAFP



Сравнение фактических финансовых затрат (%) на каскадные и двухступенчатые системы охлаждения при $t_0 = -54^\circ\text{C}$ и $t_k = +35^\circ\text{C}$

торых входят поршневой компрессорный агрегат SMC с пластинчатым водяным конденсатором в верхней ветви каскада и поршневой агрегат НРО/НРС с насосно-циркуляционным ресивером и насосами – в нижней ветви, а также кожухотрубный теплообменник в качестве испарителя-конденсатора и система поддержания давления в нижней ветви каскада. Все элементы установки размещены на общей раме.

Использование диоксида углерода требует принятия специальных мер во избежание превышения расчетного давления. Для этого в систему вводится небольшой холодильный контур с традиционным хладагентом, компенсирующий теплопритоки в нижней ветви во время остановки системы. Помимо этого на каждый элемент

нижней ветви каскада должен быть установлен двойной предохранительный клапан для предотвращения разрыва сосудов и трубопроводов. Небольшой выброс CO_2 в атмосферу абсолютно безопасен как для окружающей среды, так и для обслуживающего персонала.

В промышленных холодильных установках воздухоохладители обычно оттаивают горячими парами хладагента. Этот способ применим и в системах с диоксидом углерода, однако для его реализации требуется дополнительный компрессорный агрегат, а температура горячих паров CO_2 , от которой зависит эффективность оттайки, по понятной причине не может быть слишком высокой. Поэтому в холодильных системах с CO_2 рекомендуется использовать дру-

гие варианты оттайки воздухоохладителей.

Диоксид углерода обладает высокой плотностью и низкой вязкостью, что дает возможность обслуживать потребителей холода на более значительном расстоянии от холодильной станции, применять трубопроводы меньших диаметров, а также более компактные многозаходные теплообменники при сохранении приемлемого значения гидравлического сопротивления системы. Это значительно снижает стоимость оборудования. Кроме того, труба меньшего диаметра обладает большей прочностью при той же толщине стенки, что чрезвычайно важно при работе с диоксидом углерода.

Основными потребителями каскадных холодильных систем являются предприятия пищевой промышленности: фабрики мороженого, производители замороженных продуктов, крупные промышленные склады, предприятия нефтехимической индустрии и др.

Эксплуатация каскадных систем с применением CO_2 в Европе показала их высокие эксплуатационные качества, безопасность и экономичность. Несколько десятков таких каскадных холодильных систем было смонтировано фирмой YORK за последние годы.

Примером отлично работающей каскадной холодильной станции с CO_2 является система холодоснабжения комбината по изготовлению полуфабрикатов в г. Белефельд (ФРГ). Эта современная система холодопроизводительностью 470 кВт, спроектированная в 2000 г., обеспечивает холодом потребителей на температурном уровне -52°C .

Проведенные в России исследования показали большую заинтересованность ряда крупных предприятий различных отраслей промышленности в продвижении каскадных систем на российский рынок.

Каскадные холодильные машины с диоксидом углерода можно применять и при реконструкции действующих холодильных систем.

Фирма YORK имеет богатый опыт проектирования и монтажа каскадных систем на базе имеющегося у заказчика холодильного оборудования.

Представительство «ЙОРК Рефриджерейшн АпС», Москва
ЗАО «ЙОРК Интернэшнл», Россия, 121170, г. Москва, ул. Поклонная, 14
Телефон: (095) 232 66 60, факс: (095) 232 66 61