

Промежуточные охладители с термопрессором для двухступенчатых аммиачных холодильных установок

Канд. техн. наук
В.И.ЖИВИЦА,
Одесская государственная
академия холода

Промежуточные охладители относятся к вспомогательным аппаратам холодильных установок и предназначены для полного (или неполного) охлаждения пара между ступенями сжатия, а также для переохлаждения жидкого хладагента высокого давления в змеевике перед дросселированием. Эти аппараты во многом определяют энергетическую эффективность и эксплуатационную надежность многоступенчатых аммиачных холодильных установок. На промежуточное охлаждение расходуется более четверти (26–32 % в зависимости от режима) всего количества жидкого хладагента, полученного в конденсаторе. Более 90 % нагрузки промежуточных охладителей определяется потоком перегретого пара после сжатия в ступени низкого давления.

Гидравлический удар в аммиачных холодильных установках по-прежнему остается основной причиной аварий (до 75 % от общего их числа). Свыше половины аварий из-за гидравлического удара приходится на ступень высокого давления, т.е. на участок после промежуточного охладителя.

Наиболее распространены промежуточные охладители барботажного типа (промсосуды). Снятие перегрева в них осуществляется в результате барботажного пара, нагнетаемого ступенью низкого давления, через слой жидкого хладагента, имеющего температуру насыщения при промежуточном давлении. Барботаж сопровождается принципиально неустраняемыми потерями давле-

An intercooler in a compound system is to cool the discharge ammonia vapor between stages. This is usually done by bubbling process through a bath of liquid ammonia, and inevitable pressure drops occurred. Slugging is the most dangerous break-downs with ammonia compressors and more frequently happen at the high-stage e.g. after an intercooler. The direct contact evaporating cooling device with the heat compression effect has been used instead of bubbling open (and closed) type intercooler. The piping diagrams have been shown: for single unit, for several compressors with individual and common intercooler, for compound system and for seasonal low temperature supply when some additional compressors are possible to use.

ния, которые составляют 12...20 кПа при двухпозиционном регулировании уровня в промсосуде [5, 6, 8] и 10...38 кПа при регулировании уровня с помощью ТРВ [1]. Такие значительные потери, которые превышают 10 % рабочего давления в промсосуде, приводят к увеличению расхода электроэнергии на выработку холода. Наличие же большого количества (и высокого уровня) жидкого аммиака в промсосуде усложняет разработку надежных систем регулирования и защиты, а также создание маломощных аммиачных холодильных систем с дозированной заправкой. Кроме того, на практике из-за большой длины трубопровода от змеевика промсосуда до регулирующего вентиля, составляющей десятки метров, эффект переохлаждения жидкого аммиака высокого давления в змеевике оказывается близким к нулю, поскольку в нем при закрытом (обычно в течение 30...40 мин) соленоидном вентиле существенно повышается температура.

Часть названных недостатков можно устранить, если применить испарительное контактное охлаждение высокотем-

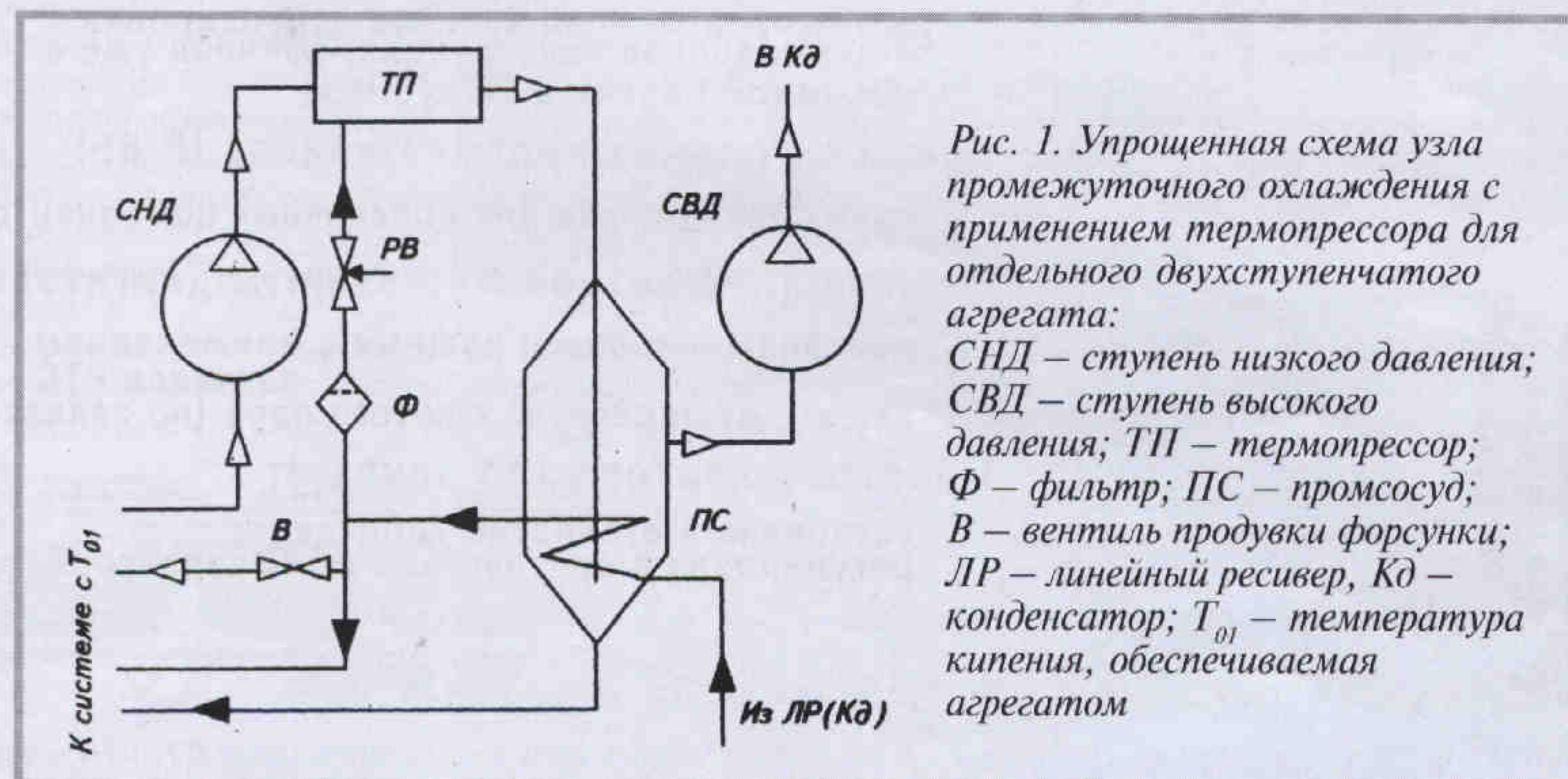
пературного потока путем ввода в него тонкораспыленной жидкости. При этом процесс должен идти с большой скоростью, но так, чтобы не была превышена местная скорость звука в потоке. При таком охлаждении получается эффект тепловой компрессии (термогазодинамический эффект). Соответствующий аппарат получил название термопрессор [2, 5].

Этот аппарат было предложено применять для решения задачи полного охлаждения пара между ступенями сжатия в аммиачной холодильной установке [2–5, 7].

За прошедшие годы накоплен опыт применения таких аппаратов в установках различной производительности, работающих по разнообразным схемам, что позволяет привести в виде обобщения некоторые схемные решения узлов промежуточного охлаждения с соответствующими рекомендациями.

По данным автора, в настоящее время в эксплуатации находится свыше 50 различных промежуточных охладителей с использованием термопрессора. Вместе с тем с помощью охладителей такого типа нельзя решать задачу переохлаждения жидкого аммиака высокого давления. По мнению автора, переохлаждение следует проводить в отдельном аппарате, находящемся в непосредственной близости от регулирующего вентиля.

Наиболее простым по конструкции является узел промежуточного охлаждения для отдельного агрегата двухступенчатого сжатия (рис. 1). В этом случае термопрессор устанавливают внутри нагнетательного трубопровода перед промсосудом (или непосредственно на входе в него внутри барботажной трубы). Поскольку в соответствии с Правилами техники безопасности запрещен



впрыск жидкого хладагента во всасывающий трубопровод компрессора, то в данном случае осуществляют впрыск в нагнетательный трубопровод, до промсосуда, играющего роль отделителя жидкости и работающего в «сухом» режиме. Полное промежуточное охлаждение потока нагнетаемого пара аммиака происходит за тысячные доли секунды и заканчивается в диффузоре аппарата. По сути получен высокоинтенсивный охладитель, с помощью которого можно устранить потери давления, свойственные барботажному способу охлаждения.

В аппарате происходит незначительное абсолютное поджатие потока при наиболее напряженных режимах работы установки, причем количество впрыскиваемого аммиака по объему на два порядка меньше мертвого объема поршневого компрессора ступени высокого давления. Такой промежуточный охладитель имеет существенно меньшие габаритные размеры и массу, для его размещения не требуется специальное место.

Опыт эксплуатации показал, что весьма вероятно засорение впрыскивающего устройства (форсунки), особенно в самом начале эксплуатации, поскольку диаметр форсунки обычно составляет несколько миллиметров, а удалить посторонние частицы в этой части трубопровода полностью не всегда удается. В связи с этим следует предусмотреть кроме фильтра линию продувки форсунки обратным потоком, соединив линию подачи жидкости со стороны низкого давления. Такое решение позволяет быстро продуть форсунку, не останавливая агрегат. Свидетельством того, что форсунка засорилась, являются возрастание давления перед ней до давления конденсации,

резкое повышение температуры на всасывании компрессора ступени высокого давления и оттаивание наружной поверхности охладителя. После того, как участок трубопровода фильтр-форсунка очистится, засорение больше не проявляется.

На рис. 1–5 буквами *PB* обозначены по сути два устройства: обычный регулирующий клапан (ручной или ТРВ) и форсунка, играющая роль распылителя жидкого аммиака, при этом она должна обеспечивать безударное смешение потоков в термопрессоре. Напомним, что форсунку (одну или несколько) устанавливают в начале камеры испарения таким образом, чтобы распыл происходил по направлению охлаждаемого потока. При этом конструктивные решения форсунок и способы их установки могут быть самыми разными. В схеме на рис. 1 и двух последующих (см. рис. 2 и 3) предусмотрена линия сброса жидкого аммиака из нижней части промсосуда на сторону низкого давления с температурой кипения T_{01} . Узел промежуточного охлаждения (см. рис. 1) можно применять как дополнительное устройство, позволяющее повысить эффективность и безопасность всего агрегата.

На всех схемах, приведенных на рис. 1–5, разводка трубопроводов показана упрощенно, т.е. все стандартные решения по размещению клапанов (запорных, регулирующих, предохранительных, отбора давления на манометры и др.) не нашли полного отражения: показаны лишь те из клапанов, которые либо включены по-особому, либо существенным образом связаны со схемой узла.

При реконструкции компрессорного цеха целесообразно применять схему с общим промсосудом (отделителем

жидкости), где применены индивидуальные охладители, устанавливаемые в нагнетательных трубопроводах каждого из компрессоров, образующих в совокупности ступень низкого давления (см. рис. 2).

Если производительности компрессоров разные, то потребуются установить соответственно разные охладители. Разновидностью такой схемы является схема с общим промсосудом (отделителем жидкости) и общим охладителем (рис. 3).

Можно рекомендовать для трех параллельно установленных однотипных компрессоров применение одного термопрессора, в котором проточная часть общая, а впрыск жидкого аммиака осуществляется соответственно тремя одинаковыми форсунками. При этом трехкратное изменение расхода нагнетаемого пара не приводит к существенному изменению давлений по длине аппарата. Необходимые расходные характеристики по впрыску жидкого аммиака для описанной схемы трех компрессоров при условии обеспечения качественного распыла не могут быть реализованы с помощью одной форсунки, поэтому каждый компрессор снабжают своей форсункой. Если компрессоры ступени низкого давления разные, то потребуется провести поверочный расчет общей проточной части и, естественно, расчет своей форсунки для каждого компрессора. Логика управления форсунками следует из схемы установки: пуск одного из компрессоров приводит к открытию линии подачи аммиака высокого давления к соответствующей форсунке.

При реконструкции холодильных предприятий перспективна гибкая и устойчивая, так называемая компаундная, схема, в которой в пределах каждой ступени

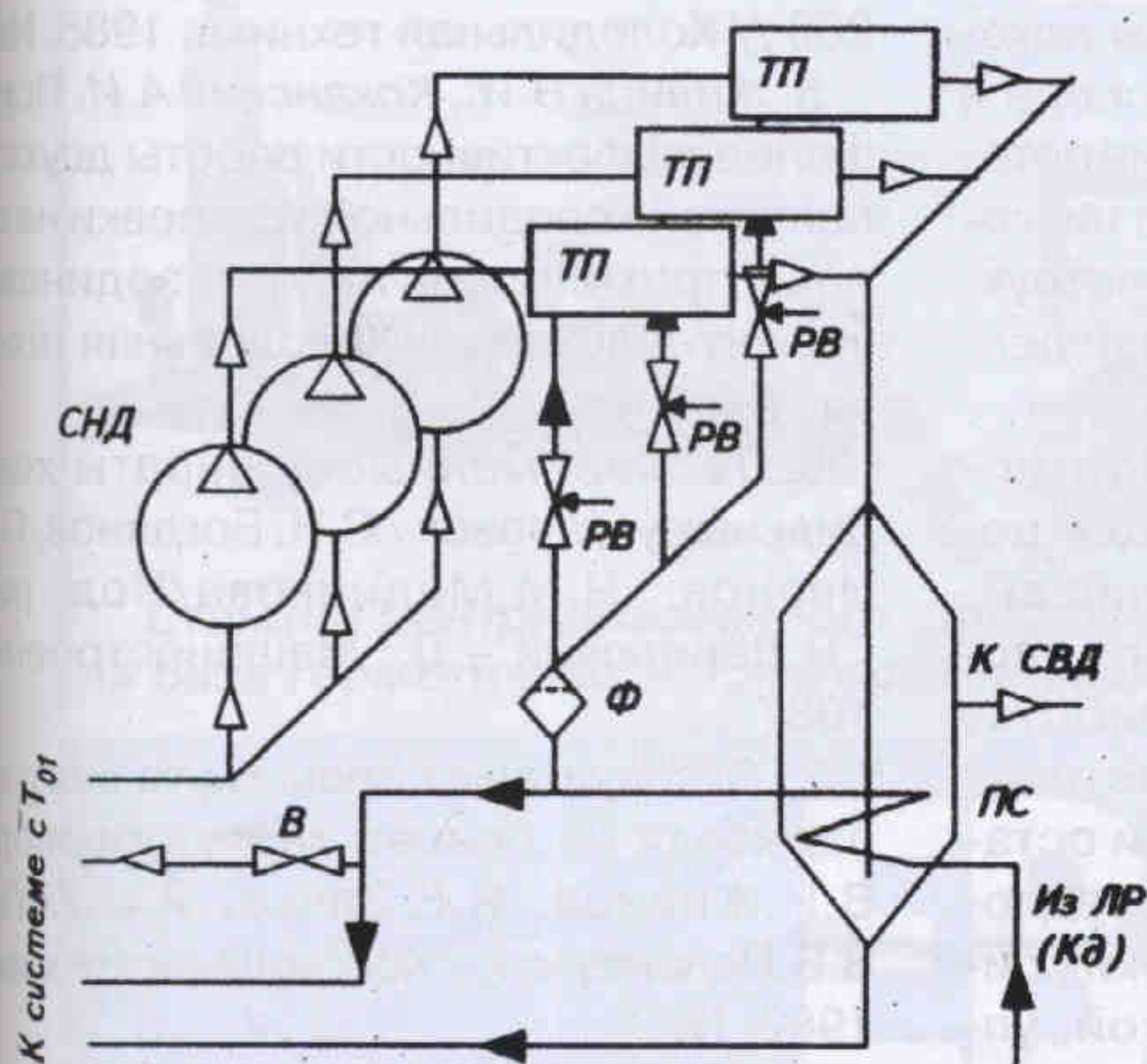


Рис. 2. Схема с общим промсосудом и индивидуальными охладителями (обозначения см. рис. 1)

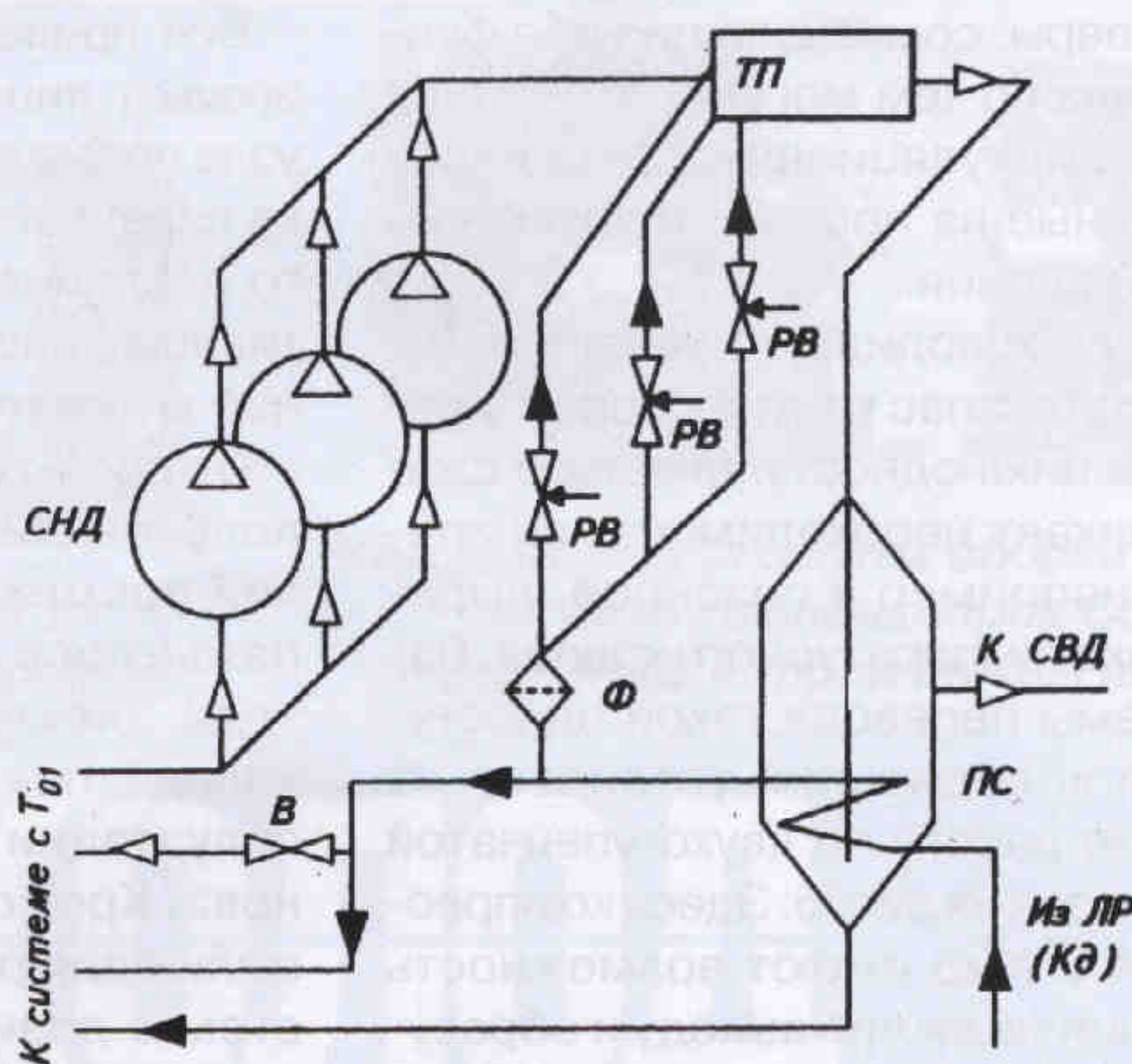


Рис. 3. Схема с общим промсосудом и общим охладителем (обозначения см. рис. 1)

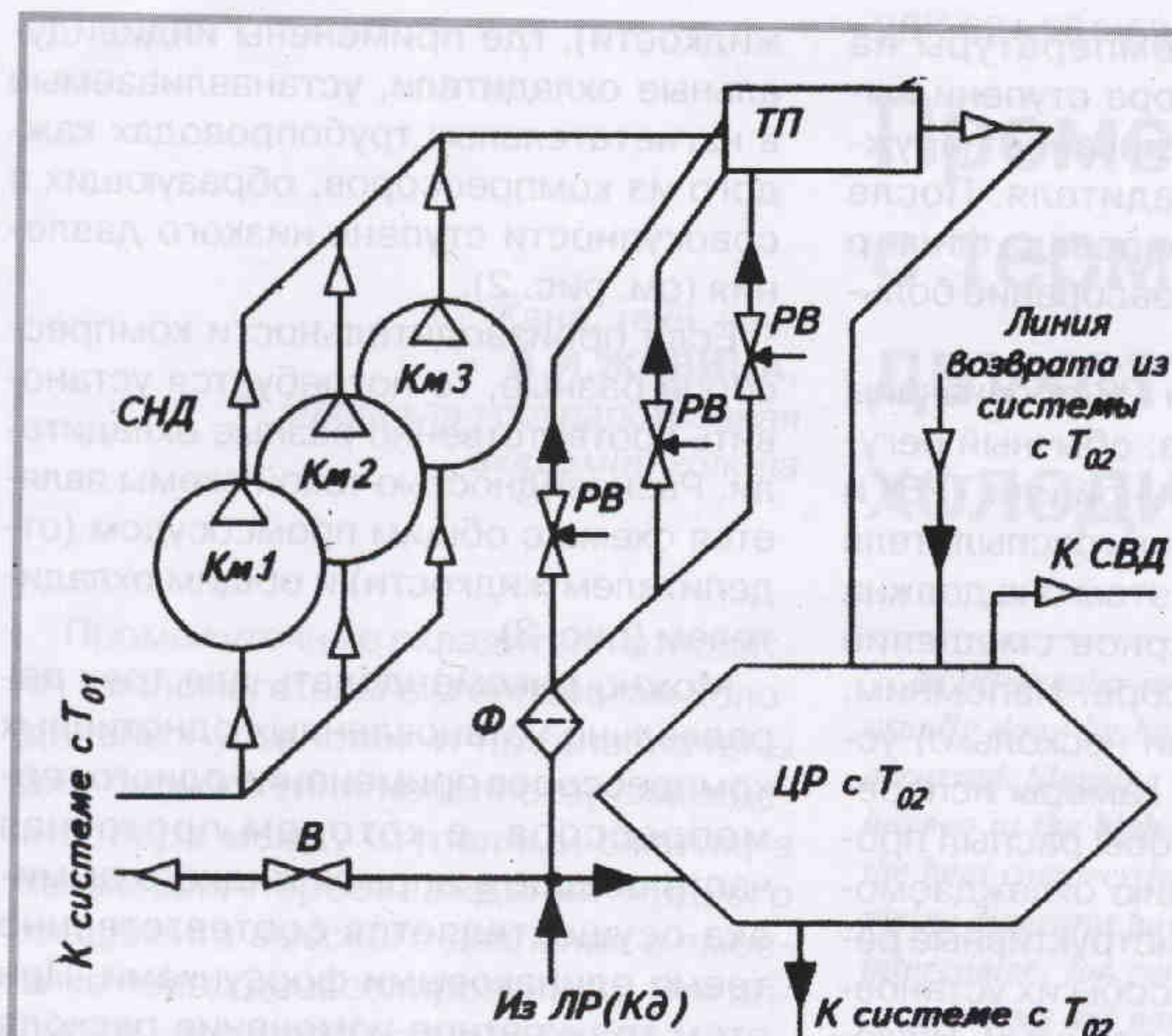


Рис. 4. Узел промежуточного охлаждения в холодильной установке, работающей по компаундной схеме:

Км1...Км3 – компрессоры;

T_{02} – промежуточный температурный уровень; ЦР – циркуляционный ресивер (остальные обозначения см. рис. 1)

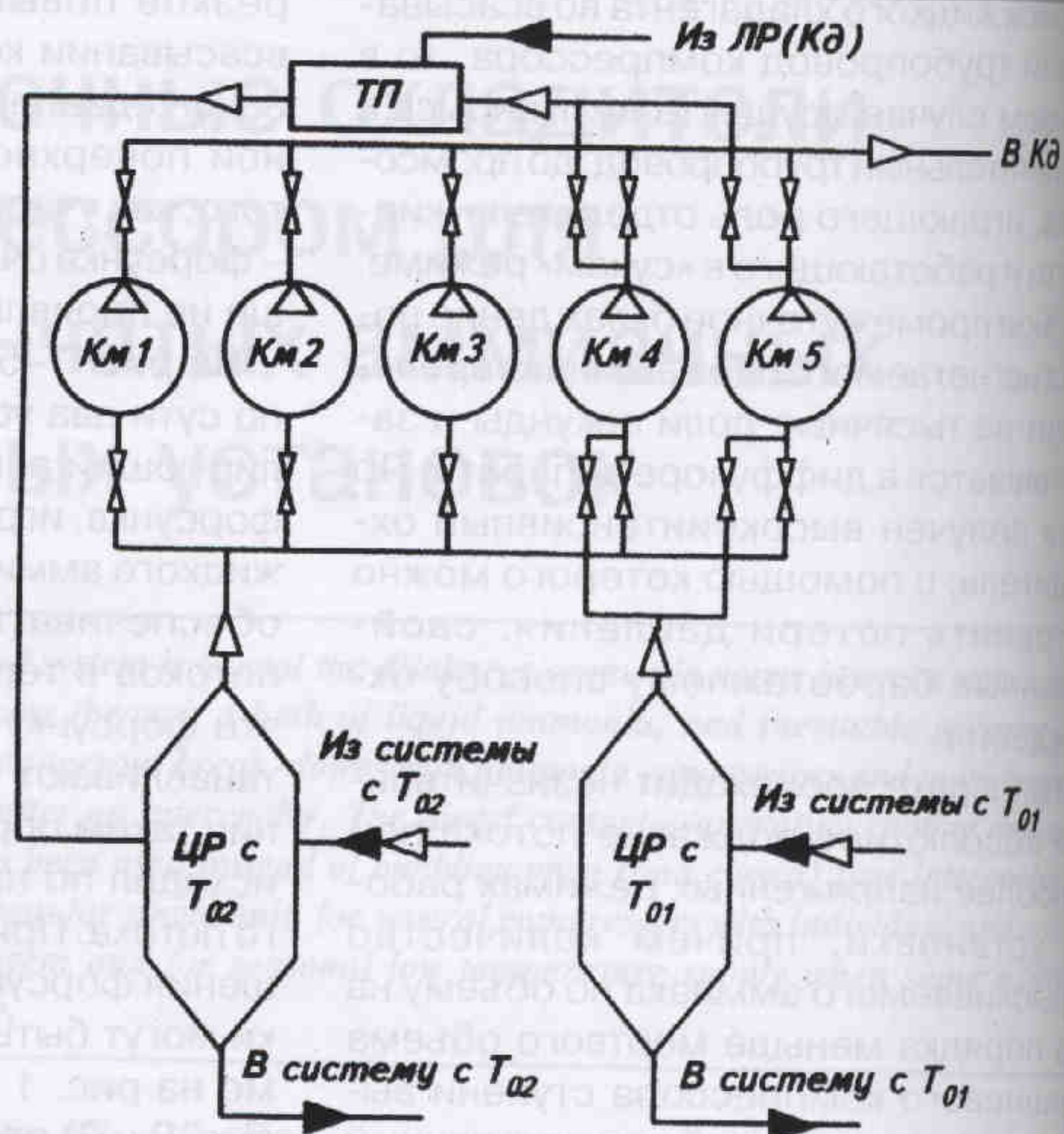


Рис. 5. Упрощенная схема перевода одноступенчатой холодильной установки на временную работу по двухступенчатой схеме (обозначения см. рис. 1 и 4)

пени компрессоры включены параллельно, а сами ступени – последовательно.

Вариант применения узла промежуточного охлаждения в компаундной схеме показан на рис. 4. В этом случае промежуточное охлаждение берут на себя либо индивидуальные охладители, либо один общий (как показано на рис. 4). Данная схема во многом совпадает с показанными на рис. 2 и 3. Попытка использовать для целей промежуточного охлаждения жидкий аммиак промежуточного давления, возвращающийся из испарителей, ожидаемого результата, по данным автора, не дала. Преимуществом рассматриваемой схемы является и то, что не требуются специальные промежуточные сосуды – циркуляционные ресиверы, совмещающие обе функции, в связи с чем могут применяться обычные циркуляционные ресиверы, рассчитанные на промежуточную температуру кипения.

Иногда на холодильных предприятиях, имеющих запас компрессоров, реализующих цикл одноступенчатого сжатия, возникает необходимость во временной, например в сезонной, выработке низкотемпературного холода. Вариант схемы перевода такой одноступенчатой холодильной установки на временную работу по двухступенчатой схеме показан на рис. 5. Здесь компрессоры *Км4* и *Км5* имеют возможность коммутации по входу-выходу и образуют ступень низкого давления *СНД*. В схему добавлены промежуточный охладитель-термопрессор *ТП* и один циркуляционный ресивер *ЦР*.

Для соблюдения правил техники безопасности требуется установить дополнительный циркуляционный ресивер (например, ЦР с T_{02}), который используют для обеспечения хладагентом потребителей системы одноступенчатого сжатия, а также как отделитель жидкости. Электродвигатели компрессоров, составляющих ступень низкого давления в такой схеме, будут существенно недогружены, поэтому следует рассмотреть возможности повышения их коэффициента мощности (например, изменением коммутации обмоток). Циркуляционный ресивер ЦР с T_{01} обеспечивает работу потребителей на низкотемпературном уровне. При возврате к исходной схеме оба ресивера работают параллельно.

Все приведенные выше схемы показывают лишь место термопрессора в узле промежуточного охлаждения потока пара, нагнетаемого ступенью низкого давления (данные по его конструктивному расчету имеются в приведенной литературе).

Положительный эффект при использовании термопрессора для целей промежуточного охлаждения выражается в снижении удельного расхода электроэнергии на выработку холода, повышении безопасности эксплуатации, упрощении пуска и останова. Кроме того, создаются предпосылки для разработки малоемких систем с дозированной заправкой, упрощается сам узел промежуточного охлаждения. Некоторые промежуточные охладители с использованием термопрессора находятся в эксплуа-

тации по 10 и более лет, не вызывая
особых замечаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский А.П. Теплотехнические испытания судовых холодильных установок. – Л.: Судостроение, 1974.
2. Живица В.И. Анализ процессов в промежуточном охладителе на основе термopессора // Холодильная техника и технология. 2001. № 1.
3. Живица В.И., Когут В.Е. Совершенствование промежуточного охлаждения в холодильных установках // Холодильная техника и технология. 1986. № 43.
4. Живица В.И., Когут В.Е., Коробань И.И. Промежуточный охладитель на основе термopессора для агрегата АД-260 // Холодильная техника. 1985. № 6.
5. Живица В.И., Коханский А.И. Повышение эффективности работы двухступенчатой холодильной установки на основе применения термогазодинамического эффекта // Холодильная техника. 1980. № 1.
6. Теплообменные аппараты холодильных установок / С.Н. Богданов, О.П. Иванов, Н.М. Медникова / Под ред. Г.Н. Даниловой. – Л.: Машиностроение, 1987.
7. Эксплуатация промежуточного охладителя на основе термopессора / В.И. Живица, И.Е. Зачко, Я.И. Коган, В.В. Паламарчук // Холодильная техника. 1982. № 3.
8. System Practices for Ammonia // ASHRAE Handbook «Refrigeration systems and applications». – Atlanta (USA). 1990. P. 4.14–4.15.