

Д-р. техн.наук **И.М. КАЛНИНЬ,**
ЭЛЬ САДИК ХАСАН
МГУ ИЭ,
канд. техн.наук **Д.В. СИДЕНКОВ**
ГОУВПО МЭИ(ТУ)

* DAIKIN: Klima vom Besten. 2002.
Рекламно-технические материалы.

♦ *графический редактор*, позволяющий в интерактивном режиме с помощью современных средств визуализации создавать принципиальную схему СТХС, производить выбор рабочего вещества и термодинамического цикла, осуществ-



Схема системы теплохолодоснабжения формируется в графическом режиме путем размещения мнемонических изображений элементов оборудования и проведения между ними линий связи. В число элементов схемы входят управляемая регулирующая и запорная арматура, что позволяет пользователю оперативно изменять режим работы установки. Элементы оборудо-

Данные о новых экологически безопасных рабочих веществах для ХМ и ТН могут включаться в экспериментальную и теоретическую базу по теплофизическим свойствам (ТФС) хладагентов либо путем введения индивидуальных кон-

Для каждого узла графа определяется его тип в соответствии с тем элементом схемы, который этот

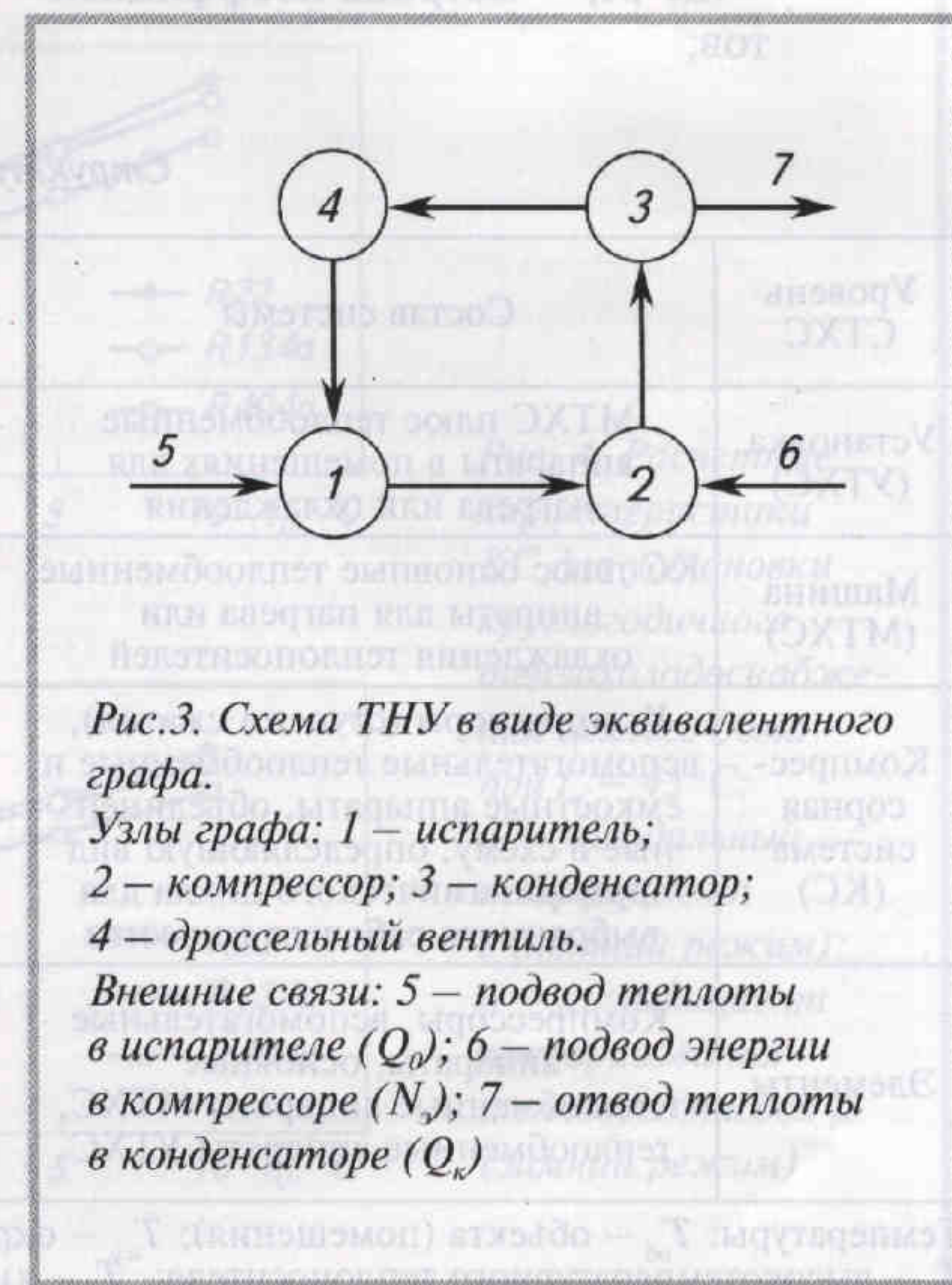


Рис.3. Схема ТНУ в виде эквивалентного графа.

Узлы графа: 1 – испаритель;
2 – компрессор; 3 – конденсатор;
4 – дроссельный вентиль.

Внешние связи: 5 – подвод теплоты в испарителе (Q_0); 6 – подвод энергии в компрессоре (N_c); 7 – отвод теплоты в конденсаторе (Q_c)

мых системой тепловых потоков. Поиск экстремума при экономической оптимизации ведется путем изменения площади теплообменной поверхности аппаратов и варьирования конструкций аппаратов. В результате расчета получают внешние характеристики МТХС.

Характеристики УТХС формируются в результате взаимодействия характеристик МТХС и теплообменных аппаратов для охлаждения или нагрева помещения, где происходит теплообмен между теплоносителем с температурой T_s или T_w и воздухом помещения с температурой $T_{об}$.

В результате проектного расчета СТХС получают:

- варианты для сопоставления;
- оптимизированный вариант и оптимальные значения выбранных критериев эффективности.

В качестве критерия энергетической эффективности принят эксергетический КПД. Этот выбор определяется тем, что СТХС (в отличие от ХМ и ТН) в общем случае одновременно вырабатывают теплоту и холод на нескольких температурных уровнях. Количество вырабатываемой тепловой энергии и температурные уровни могут меняться в течение рассматриваемого времени работы СТХС, например в течение года. В зависимости от климатических условий это время (год) может быть поделено на два или несколько периодов, например зимний и летний. При этом принимается, что в пределах каждого из них система работает при постоянных температурах окружающей среды, теплоносителей, кипения и конденсации рабочего вещества. Расчеты энергетической эффективности СТХС как многоцелевой системы (в отличие от одноцелевых ХМ и ТН) должны выполняться с учетом термодинамической ценности разнородных потоков энергии.

Среднегодовое значение эксергетического КПД СТХС можно определить, зная продолжительность работы системы в летний t_l и зимний t_z периоды:

$$\eta_{\text{эсп}} = \eta_{\text{ел}} \frac{t_l}{t} + \eta_{\text{ез}} \frac{t_z}{t}, \quad (2)$$

где $t_l = t_l + t_z$ — время работы системы за год, ч;

$\eta_{\text{ел}}$ и $\eta_{\text{ез}}$ — эксергетический КПД для каждого периода работы.

$$\eta_{\text{эл(з)}} = \frac{\sum E_{\text{эл(з)}}}{N_{\text{эл(з)}}}. \quad (3)$$

Здесь

$$\sum E_{\text{эл(з)}} = \sum_{i=1}^n Q_i |\tau_{\text{ел}}| = Q_{\text{охл}} \cdot |\tau_{\text{охл}}| + Q_{\text{отоп}} \cdot |\tau_{\text{отоп}}| + \dots + Q_{\text{гвс}} \cdot |\tau_{\text{гвс}}| -$$

суммарная эксергия, кВт;

N_s — потребляемая системой электрическая мощность, кВт;

$Q_{\text{охл}}$, $Q_{\text{отоп}}$, $Q_{\text{гвс}}$ — осредненные нагрузки охлаждения, отопления и горячего водоснабжения, кВт;

$$\tau_e = 1 - \frac{T_{\text{о.с}}}{T} \text{ — значение эксергетической температурной функции;}$$

T — определяющая рабочая температура процесса, К. Для компрессорной системы (КС) это температуры кипения T_0 и конденсации T_k , для СТХС — термодинамически ос-

редненные температуры потоков теплоносителей.

В качестве критерия экономической эффективности СТХС принято отношение приведенных затрат в течение летнего Z_l или зимнего Z_z периода к выработанной за это время эксергии — стоимость эксергии, руб/(кВт·ч):

$$Z_{0\text{эл(з)}} = \frac{Z_{\text{эл(з)}}}{\sum E_{\text{эл(з)}} t_{\text{эл(з)}}}, \quad (4)$$

где $\sum E_{\text{эл(з)}} t_{\text{эл(з)}}$ — суммарная выработанная эксергия для рассматриваемого периода работы, кВт·ч.

Тогда средние годовые удельные приведенные затраты СТХС, руб/(кВт·ч):

$$Z_{\text{оср}} = \frac{1}{t} \left(\frac{Z_l}{\sum E_l} + \frac{Z_z}{\sum E_z} \right). \quad (5)$$

В безразмерном виде этот критерий является отношением стоимости 1 кВт·ч эксергии к стоимости 1 кВт·ч потребленной электроэнергии:

$$Z_{\text{оср}} = \frac{1}{t} (Z_{\text{ол}} + Z_{\text{ос}}), \quad (6)$$

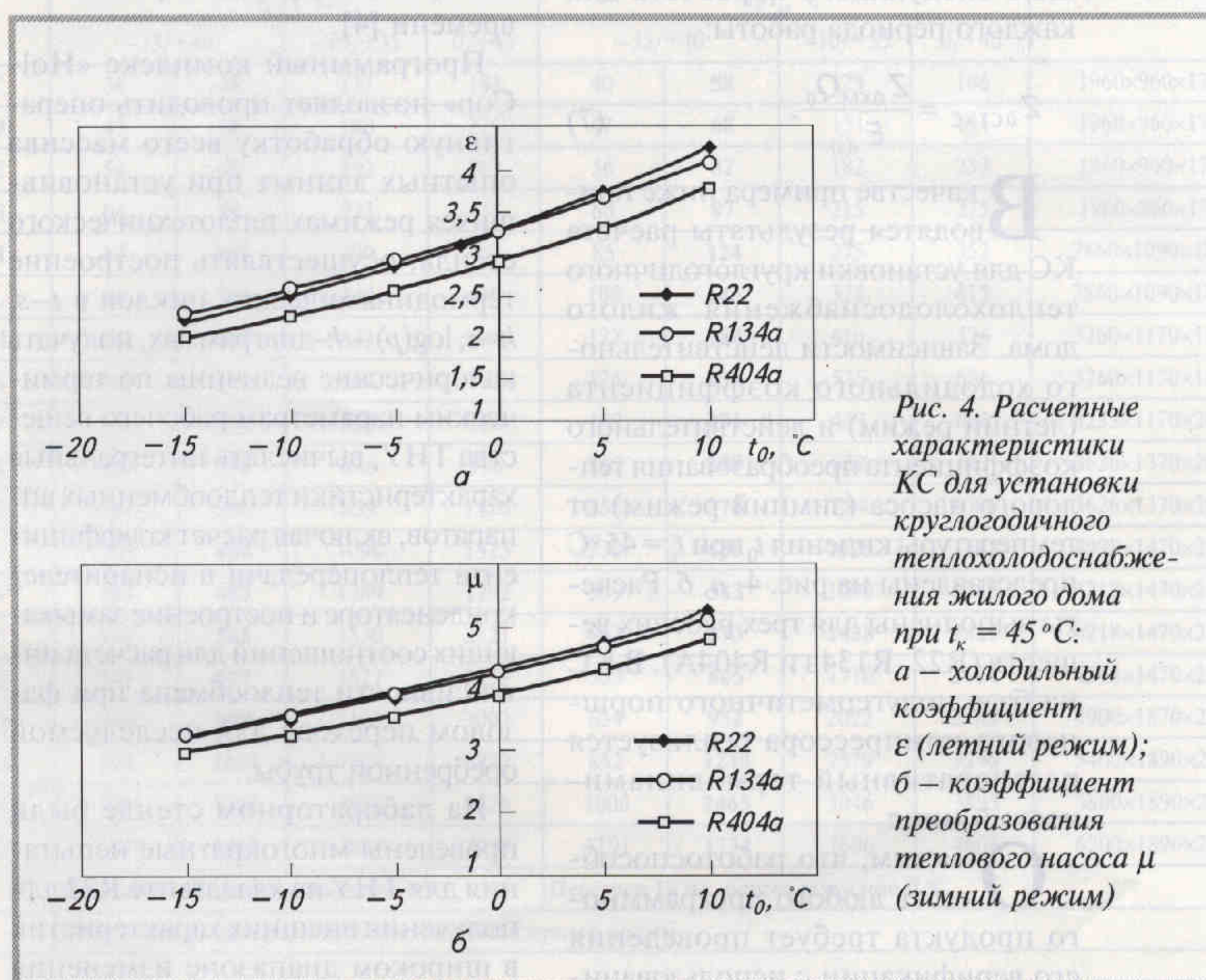


Рис. 4. Расчетные характеристики КС для установки круглогодичного теплоснабжения жилого дома при $t_k = 45^\circ\text{C}$: а — холодильный коэффициент ε (летний режим); б — коэффициент преобразования теплового насоса μ (зимний режим)

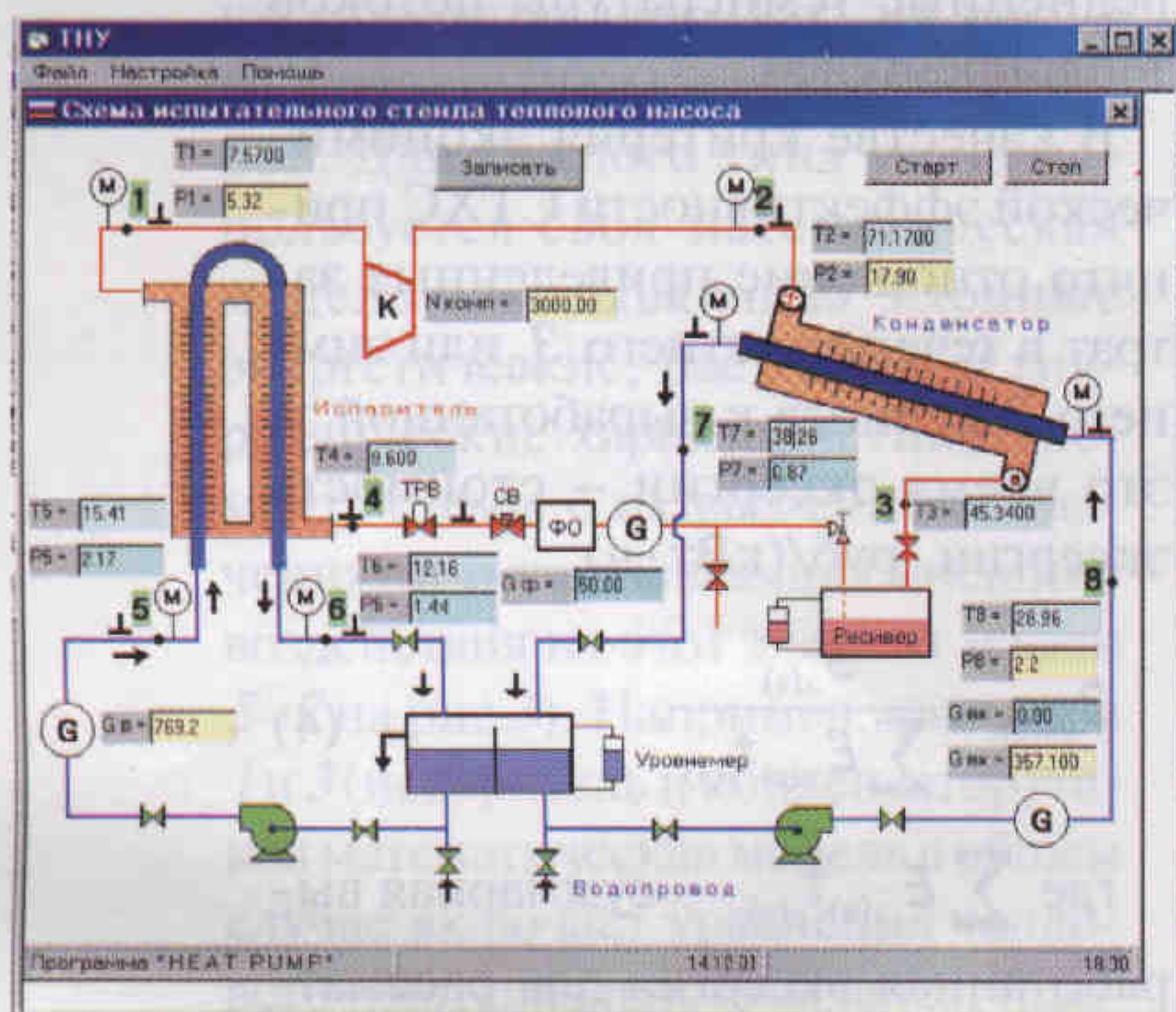


Рис. 5. Схема экспериментального стенда

где $Z_{0\lambda(a)} = \frac{Z_{0\lambda(a)}}{\xi_3}$ – безразмерные затраты для данного периода работы; ξ_3 – тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч).

Разработанная ранее система зависимостей для определения составляющих безразмерных приведенных затрат и их суммы применительно к холодильной машине ($Z_{0\text{ХМ}}$) холодопроизводительностью Q_0 [1] может быть полностью использована для СТХС с помощью следующего пересчета для каждого периода работы:

$$Z_{\text{OCTXC}} = \frac{Z_{\text{OXM}} Q_0}{E_{\lambda(\beta)}}. \quad (7)$$

В качестве примера ниже приводятся результаты расчета КС для установки круглогодичного теплоснабжения жилого дома. Зависимости действительного холодильного коэффициента (летний режим) и действительного коэффициента преобразования теплового насоса (зимний режим) от температуры кипения t_0 при $t_k = 45^\circ\text{C}$ представлены на рис. 4, а, б. Расчеты выполнены для трех рабочих веществ (R22, R134a и R404A). В КС на базе полугерметичного поршневого компрессора реализуется регенеративный термодинамический цикл.

Отметим, что работоспособность любого программного продукта требует проведения его верификации с использованием

ем известных (проверенных) численных решений и достоверных экспериментальных данных.

Сотрудниками кафедры «Холодильная и криогенная техника» МГУ ИЭ совместно с научно-производственной фирмой «ЭКИП» разработан и установлен в лаборатории кафедры испытательный стенд теплопроизводительностью до 15 кВт, схема которого представлена на рис. 5. На стенде установлены интенсифицированные теплообменные аппараты оригинальной конструкции с ошипованными микрорельефными поверхностями, изготовленными по технологии деформирующего резания, разработанной в МГТУ им. Баумана. Детальное описание стенда приведено в [5].

В программном комплексе «HolCon» предусмотрен специальный программный модуль, позволяющий с помощью платы АЦП подключаться к первичным приборам экспериментального стенда, проводить в интерактивном режиме настройку рабочих параметров, осуществлять сбор и первичную обработку результатов измерений в режиме реального времени [4].

Программный комплекс «Hoi-
Con» позволяет проводить опера-
тивную обработку всего массива
опытных данных при установив-
шихся режимах теплотехнического
стенда, осуществлять построение
термодинамических циклов в $t-s$,
 $h-s$, $\log(p) - h$ -диаграммах, получать
калорические величины по терми-
ческим параметрам рабочего веще-
ства ТНУ, вычислять интегральные
характеристики теплообменных ап-
паратов, включая расчет коэффици-
ента теплопередачи в испарителе/
конденсаторе и построение замыка-
ющих соотношений для расчета ин-
тенсивности теплообмена при фа-
зовом переходе для исследуемой
оребрённой трубы.

На лабораторном стенде были проведены многократные испытания для ТНУ на хладагенте R22 для получения внешних характеристик в широком диапазоне изменения

температур теплоносителей, а также тепловых и гидромеханических характеристик испарителя и конденсатора при различных температурных и тепловых нагрузках.

Экспериментальные данные, полученные в ходе этих испытаний, используются в настоящее время для верификации математических моделей, заложенных в программу «HolCon».

В дальнейшем планируется также использование программного комплекса «HolCon» в учебном процессе [2], что обеспечит студентов, инженеров и аспирантов информационно-теоретической и практической базой в области систем тепло- и холодообеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков А.В., Калнинь И.М., Кру-
зе А.С. Холодильные машины и
тепловые насосы. — М.: Агропром-
издат, 1988.
2. Калнинь И.М., Сиденков Д.В.,
Эль Садик Хасан. Комплекс про-
граммного обеспечения для расче-
та энергетических параметров хо-
лодильных машин. Материалы IV
выставки-ярмарки «Современная
образовательная среда». — М.: ВВЦ,
1—4.11.2002 г.
3. Попырин Л.С. Математическое
моделирование и оптимизация
теплоэнергетических установок. —
М.: Энергия, 1978.
4. Соколов Е. Ю., Сиденков Д.В.,
Сухих А.А. Лабораторный стенд и
комплекс программ для исследова-
ния энергетических характеристик
теплонасосной установки // Тези-
сы докладов 8-й Международной
научно-технической конференции
студентов и аспирантов Т. 3. — М.:
МЭИ.28.02—1.03. 2002.
5. Сухих А.А., Генералов К.С., Аки-
мов И.А. Испытания теплового на-
соса для теплоснабжения индивиду-
ального дома// Труды МГУИЭ. Тех-
ника низких температур на службе
экологии. — М.: МГУИЭ, 2000.
6. Starling K.E., Han M.S. Ther-
modata Refined for LPG Industrial
Applications// Hydrocarbon Proc.,
vol.51, 1972.