

Комплектный энергосберегающий электропривод насосов холодного и горячего водоснабжения домов старой застройки и его исследования в эксплуатации

Остриров В.Н.

В центральном административном округе (ЦАО) г.Москвы имеется много зданий старой постройки, имеющих специфику в проложенных коммуникациях горячего и холодного водоснабжения. Регулирование давления или температуры воды в системах водоснабжения этих зданий осуществляется путем дросселирования задвижками или в лучшем случае ступенчатого включения насосов.

Специфика заключается в том, что зданий, подключенных к одному тепловому пункту (ЦТП) много, их этажность различная (от 2-х до 6-ти этажей), большая часть из них не требует второго подъема воды, им достаточно давления в “городской” магистрали, однако горячее водоснабжение всех зданий обеспечивается от одного ЦТП. В результате соотношение потребления холодной и горячей воды через ЦТП составляет приблизительно 30% на 70%, а не наоборот, как в районах новой застройки. Насосы холодного водоснабжения (ХВС), следовательно, главным образом обеспечивают потребителей горячей водой.

В одном из районов ЦАО создана зона высокой энергетической эффективности (ЦТП №739/015, расположенная по адресу Скатертный пер., дом 11). Это типичный для ЦАО комплекс из двадцати строений, включающий в себя жилые и офисные помещения, обеспечиваемые горячей водой и отапливаемые от одного ЦТП, в котором установлены узлы учета тепловой энергии, частотно-регулируемые приводы (ЧРП) холодного и горячего водоснабжения.

Одной из наукоемких задач, решаемых в ходе реализации этого проекта, явилось *определение способа рационального управления ЧРП холодного и горячего водоснабжения как единым комплексом, обеспечивающим максимальную экономию электроэнергии, воды и тепла.*

Обычно, в том числе и в городских районах старой застройки, ЧРП устанавливаются только на ХВС. На ГВС, в связи с относительно небольшой мощностью насоса (не более 30% от ХВС), ЧРП не ставят, считая экономией

электроэнергии недостаточной для обеспечения приемлемого срока окупаемости оборудования.

Такое мнение нельзя признать верным и окончательным, поскольку цена электроэнергии по сравнению с ценой воды и теплоты незначительна и их экономию, если она есть, нужно учитывать.

В этой связи данный ЦТП был специально дооборудован необходимыми дополнительными средствами измерения и учета и на этой экспериментальной базе были проведены обстоятельные исследования.

Для достижения экономии, автоматизация должна минимизировать среднюю мощность ХВС, т.е. поддерживать минимальное давление в системе, а также минимизировать производство объема циркуляции горячей воды на разность температур воды на прямой и обратной ветви ГВС. Ограничением указанных показателей является комфортность ХВС и ГВС – достаточный напор воды при максимальном водоразборе, достаточная и постоянная температура горячей воды.

Экспериментальные исследования эффективности комплексной автоматизации насосов холодного и горячего водоснабжения домов старой застройки.

Цель исследований - *определение рациональной структуры автоматизированного холодного и горячего водоснабжения зданий в районах старой застройки* Москвы по критерию наибольшего энерго- и ресурсосбережения на базе применения разработанного комплектного энергосберегающего оборудования.

Фотография энергосберегающего комплекта дана на рис.1.

Метод исследований.

Экспериментальные исследования рациональных структур автоматизированного водоснабжения на ЦТП №739/015 ЦАО г.Москвы, обработка результатов экспериментов, определение полученной экономии электроэнергии, воды и тепла, сопоставление различных структур автоматизации, выбор наиболее рациональной структуры и расчет срока окупаемости



Рис.1. Энергосберегающий комплект в составе “Универсал-7,5(В)”, СГУЗ-В-7,5(С), “Универсал-2,2(Б)”, СГУ2-Б-2,2.

комплектного оборудования для управления электроприводами насосов холодного и горячего водоснабжения.

Объект исследований – автоматизированный ЦТП, основные параметры расхода электроэнергии, воды и теплоты при работе следующего оборудования ХВС и ГВС:

1. Насос типа КМ80–65–160 с приводными асинхронными двигателями ДАТ-112-7,5-3000У2 (напряжение питающей сети 380 В, частота 50 Гц, номинальная мощностью 7,5 кВт), используемый в качестве хозяйственного насоса на линии холодного водоснабжения (ХВС), снабженный станцией группового управления СГУ3-В-7,5С с автоматическим регулятором “Универсал – 7,5(В)”.

2. Насос типа ЦМНШ-80 с приводными асинхронными двигателями АИР80 (напряжение питающей сети 380 В, частота 50 Гц, номинальная мощностью 1,5 кВт), используемый в качестве хозяйственного насоса на линии горячего водоснабжения (ГВС), снабженный станцией группового управления СГУ2-Б-2,2 с автоматическим регулятором “Универсал – 2,2(Б)”.

Программа исследований.

1. На базе станции группового управления СГУ3-В-7,5С, преобразователя частоты “Универсал – 7,5(В)”, датчика давления КРТ-2-1,0 и хозяйственного насоса линии ХВС создается замкнутая система регулирования давления.

2. На базе станции группового управления СГУ2-Б-2,2, преобразователя частоты “Универсал – 2,2(Б)”, датчика давления КРТ-2-0,6 или датчика температуры ТСМУ-205 и хозяйственного насоса линии ГВС создается замкнутая система регулирования давления или температуры.

3. Фиксируются основные параметры объекта исследования (давление, расход, температура воды, расход теплоты, мгновенная потребляемая мощность и потребление электроэнергии) при различных структурах управления не менее одной календарной недели, включающей пять рабочих и два выходных дня без дополнительных праздников, на каждую исследуемую структуру.

4. Основные параметры объекта исследования измеряются с помощью штатных приборов ЦТП и дополнительного измерительного оборудования,

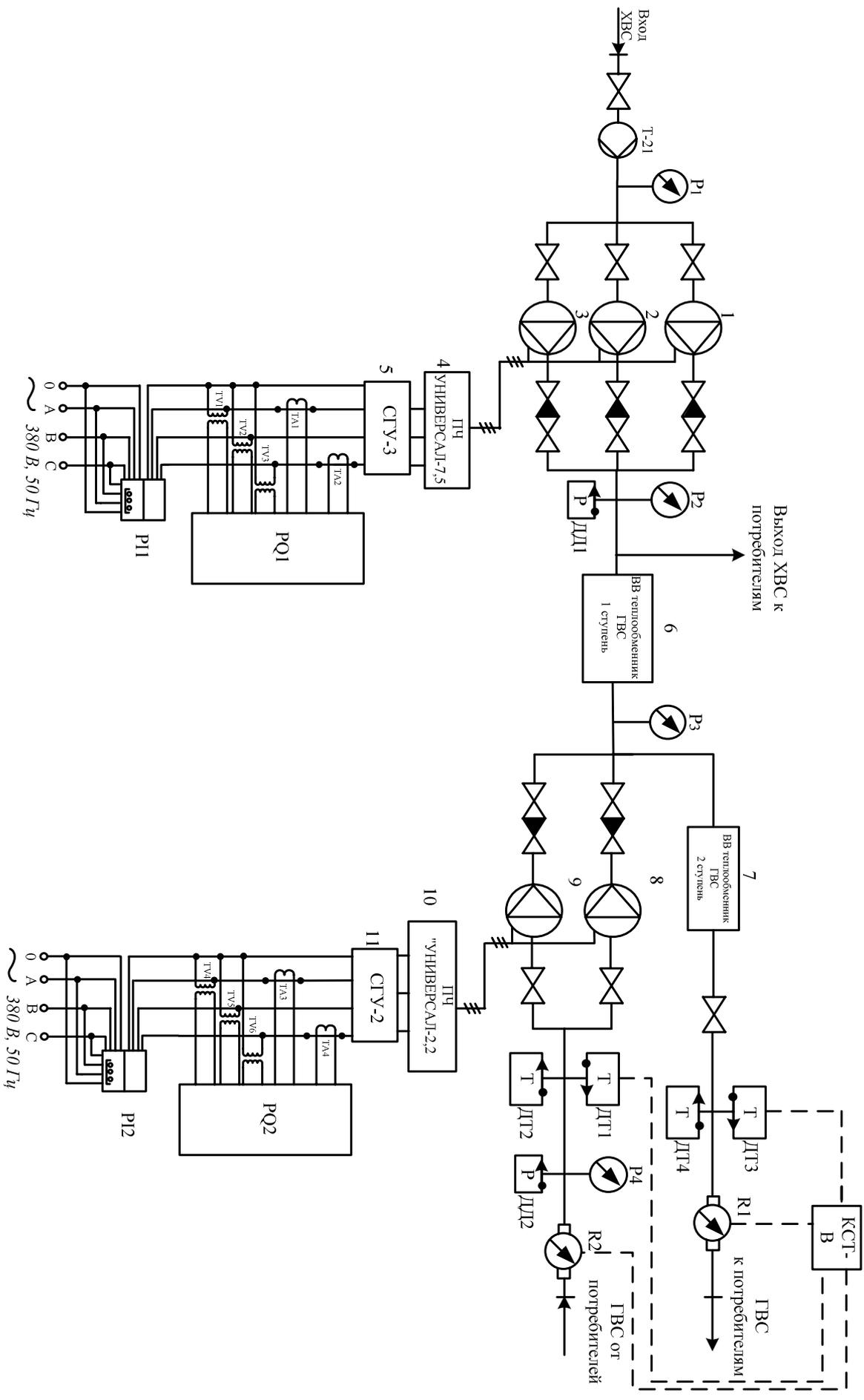


Рис. 2. Общая схема ЦТП с комплектом управляющего и измерительного оборудования (схема №1).

установленного на двух специализированных испытательных стендах, преобразуются в цифровую форму и записываются на персональный компьютер.

5. Сопоставление результатов исследования структур проводится по каждому сопоставимому дню недели и интегрально по неделям.

Общая схема ЦТП с комплектом измерительного оборудования приведена на рис.2. В состав схемы входят следующие узлы и агрегаты:

1,2,3 – насосы холодного водоснабжения КМ80–65–160 с приводными асинхронными двигателями ДАТ-112-7,5-3000У2 мощностью 7,5кВт.

4 – преобразователь частоты “Универсал – 7,5(В)”.

5 – станция группового управления тремя насосами СГУ3-В-7,5С.

6,7 – водо-водяной теплообменник, обеспечивающий двухступенчатый нагрев холодной воды.

8,9 – насосы горячего водоснабжения (ГВС) ЦМНШ-80 с приводными асинхронными двигателями АИР80 мощностью 1,5кВт.

10 – преобразователь частоты “Универсал – 2,2 (Б)”

11 – станция группового управления на два насоса СГУ2-Б-2,2.

Р₁, Р₂ – манометры, предназначенные для визуального контроля давления на входе и выходе системы холодного водоснабжения.

Р₃ – манометр, показывающий давление после первой ступени нагрева воды (на выходе насосов ГВС).

Р₄ – манометр, показывающий давление в обратном трубопроводе ГВС.

ДД1 – датчик давления КРТ-2-1,0, обеспечивающий сигнал обратной связи по давлению системы ХВС. Пределы допустимой основной погрешности $\pm 0,5\%$.

ДД2 – датчик давления КРТ-2-0,6, обеспечивающий сигнал обратной связи по давлению в обратном трубопроводе системы ГВС. Пределы допустимой основной погрешности $\pm 0,5\%$.

ДТ1, ДТ3 – термопреобразователи сопротивления КТП500-ИВК, передающие сигнал температуры в теплосчетчик КСТ-В. Диапазон измеряемых температур 0-160 °С. Абсолютная погрешность измерения температуры $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$.

ДТ2 – термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом (датчик температуры) ТСМУ – 205, обеспечивающий сигнал обратной связи по

температуре в обратном трубопроводе системы ГВС. Диапазоном измеряемых температур 0-80 °С. Класс точности 0,25.

ДТ4 – термопреобразователь с унифицированным выходным сигналом (датчик температуры) ТСМУ – 205, обеспечивающий сигнал обратной связи по температуре в обратном трубопроводе системы ГВС. Диапазоном измеряемых температур 0-100 °С. Класс точности 0,5.

Т-21-50 – теплосчетчик, предназначенный для измерения, вычисления и запоминания следующих величин:

- количества теплоты (тепловой энергии) Q , Гдж;
- объема теплоносителя V , м³;
- массы теплоносителя G , т;
- массового расхода теплоносителя q , Гдж/ч;
- температуры T , °С;

Порог чувствительности измерения расхода 0,3 м³/ч. Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры теплоносителя ±0,5 °С. Предел погрешности измерения теплоты (тепловой энергии) ± 3%. Предел допускаемой относительной погрешности измерения объема и массы теплоносителя ±1%.

КСТ-В – теплосчетчик, измеряющий, запоминающий и индицирующий следующие величины:

$W1$, м³ – объем теплоносителя, прошедший в подающем трубопроводе системы теплоснабжения;

$W2$, м³ – объем теплоносителя, прошедший в обратном трубопроводе системы теплоснабжения;

$w1$, м³/ч – расход теплоносителя в подающем трубопроводе системы теплоснабжения;

$w2$, м³/ч – расход теплоносителя в обратном трубопроводе системы теплоснабжения;

$t1$, °С – температура в подающем трубопроводе системы ГВС;

$t2$, °С – температура в обратном трубопроводе системы ГВС;

$P1$, кг/см² – давление в прямом трубопроводе системы ГВС (P3 на схеме);

$P2$, кг/см² – давление в обратном трубопроводе системы ГВС (P4 на схеме);

Q_1, Q_2 , Гдж – количество потребленной (отпущенной) тепловой энергии теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе системы ГВС;

q_1, q_2 , МВт – тепловая мощность теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе системы ГВС ;

G_1, G_2 , т – массы теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе системы ГВС;

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения количества теплоты $\pm 3\%$. Пределы относительной погрешности измерения объема и массы теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе ГВС не более $\pm 2\%$. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры теплоносителя не более $\pm 0,6^\circ\text{C}$. Пределы допускаемой приведенной погрешности измерения давления не более $\pm 0,5\%$.

R1, R2 - преобразователь расхода ВПР. Предназначен для измерения объема и расхода теплоносителя в трубопроводах и передачи их для обработки и хранения в теплосчетчик КСТ-В:

- накопленный объем W_1, W_2 , м³;
- расход w_1, w_2 , м³/ч.

Пределы основной относительной погрешности измерения объема $\pm 0,5\%$. Пределы основной относительной погрешности измерения расхода $\pm 1\%$.

PQ1, PQ2 – преобразователь измерительный активной и реактивной мощности трехфазного тока Е849/9-М1. Предназначен для преобразования активной и реактивной мощности трехфазных цепей переменного тока в два гальванически развязанных между собой унифицированных выходных сигнала постоянного тока. Предел допускаемой приведенной основной погрешности ИП равен 1% от нормирующего значения выходного сигнала (нормирующее значение выходного сигнала для Е849/9-М1 равно 5мА).

TV1 – TV6 – трансформаторы напряжения ТПП-262-220-50.

TA1, TA2 – трансформатор тока Т-0,66-У3 с классом точности 0,5. Номинальный первичный ток 30А, номинальный вторичный ток 5А.

TA2, TA3 – трансформатор тока Т-0,66-У3 с классом точности 0,5. Номинальный первичный ток 5А, номинальный вторичный ток 5А.

PI 1, PI 2 – счетчики электроэнергии СА4-И678. Предназначен для учета активной энергии переменного тока частотой 50Гц.

Поставленную задачу экспериментальных исследований можно было решить только в автоматизированной системе измерения, записи и обработки информации. Приборы учета Т-21-50 и КСТ-В, установленные на ЦТП, имеют цифровые порты RS-232 и выведены на персональный компьютер, прочие, дополнительно установленные датчики с аналоговыми электрическими выходами, также были подключены к компьютеру с помощью комплекта измерительного оборудования фирмы National Instruments – платы выборки и хранения SC-2040, платы мультиплицированного ввода-вывода МЮ-16Е и прикладное программное обеспечение LABVIEW.

Процедура исследований.

Приведенная на рис.2 структурная схема №1 использована для нерегулируемого режима работы насосов ХВС и ГВС ЦТП. Все исследуемые структуры автоматического регулирования по своим показателям должны сравниваться с данной структурой, поскольку до автоматизации ЦТП оперативного регулирования давления в системе водоснабжения не было.

Путем дросселирования на выходе насоса ХВС устанавливалось давление около 6мПа в период наибольшего водоразбора, этого было достаточно для подъема холодной воды в 6-и этажный дом, а также преодоления гидравлического сопротивления двух теплообменников и всей разветвленной гидравлической сети ГВС. В часы минимального водоразбора и высокого давления в городской водопроводной сети это давление поднималось до 8мПа. На входе насоса ГВС устанавливалось давление на 1,2-1,5Мпа ниже, чем на его выходе в часы наибольшего водоразбора, этим обеспечивалась циркуляция горячей воды через теплообменник в системе ГВС и защита ее от остывания в период наименьшего водоразбора. Разрежение, обеспечиваемое насосом ГВС, было нестабильно, поскольку и давление, создаваемое насосом ХВС, находилось в существенной зависимости от водоразбора.

На рис.3-5 даны три рациональные структурные схемы комплексной автоматизации ХВС и ГВС ЦТП (схемы №2-4). В схеме №2 (рис.3) насос ХВС стабилизирует давление на своем выходе – это традиционное решение, а насос

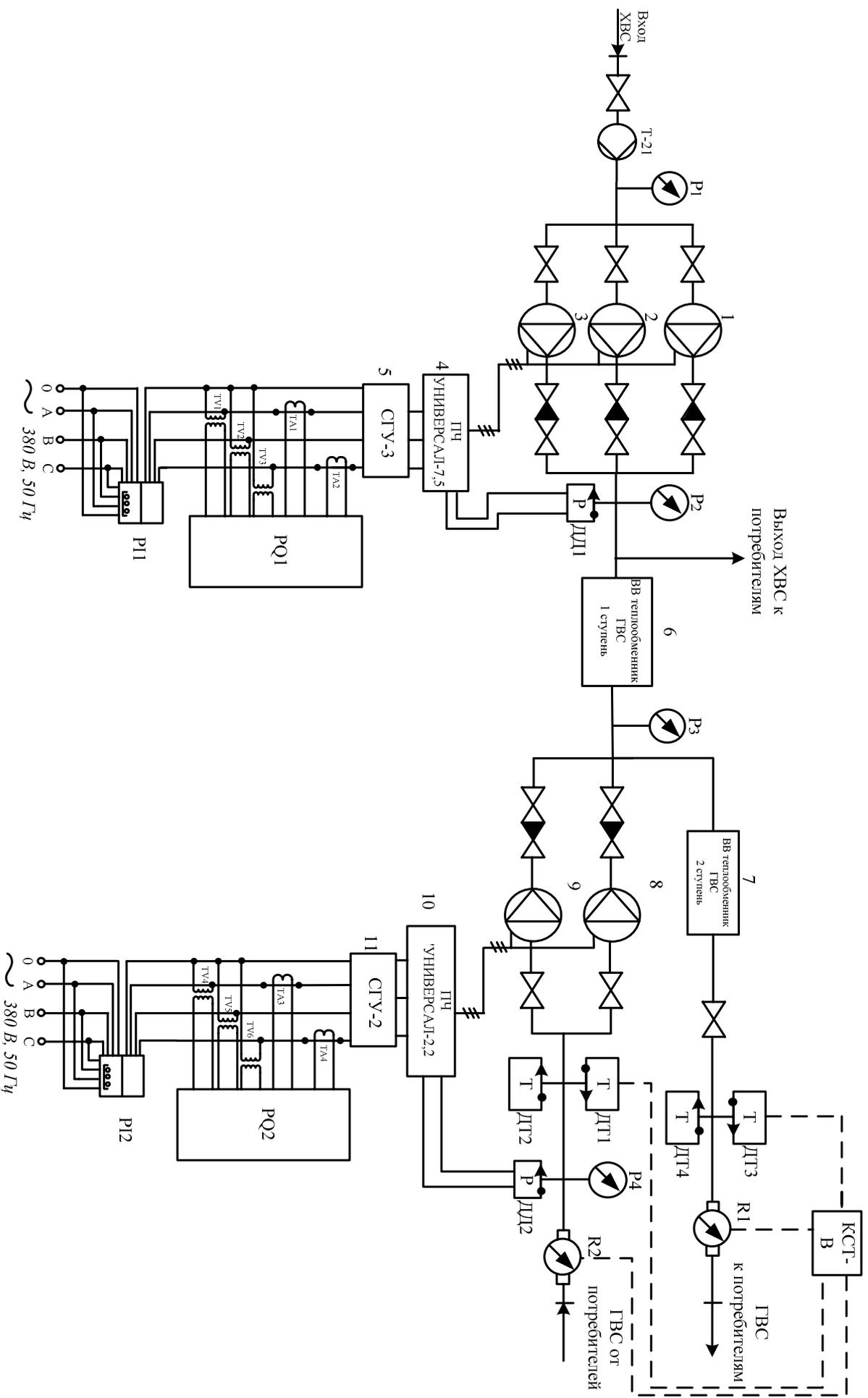


Рис. 3. Структурная схема №2 комплексной автоматизации ХВС и ТВС.

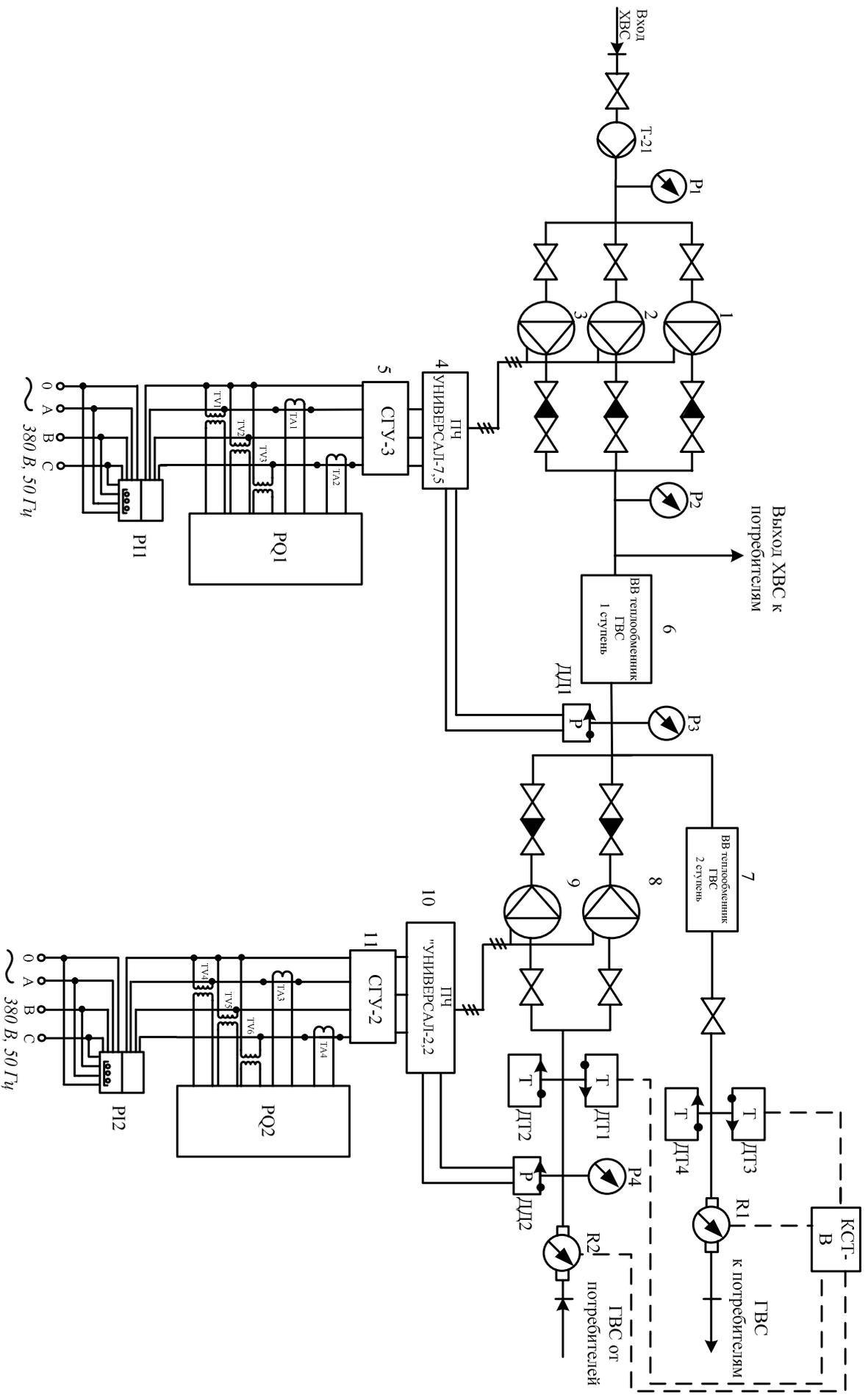


Рис.4. Структурная схема №3 комплексной автоматизации ХВС и ГВС.

ГВС стабилизирует давление на своем входе – это уже нетрадиционно, как отмечено выше. Уставка давления ХВС взята на минимальном уровне (6мПа), найденном при исследовании схемы №1. ГВС, как и положено, настроен на разрежение около 1,2мПа. Давление на выходе насоса ХВС стало поддерживаться точно на уровне заданного, на входе ГВС приблизительно на уровне заданного. Вместе с тем, поскольку давление между теплообменниками осталось зависимым, хотя и существенно слабее, от водоразбора, разрежение, создаваемое насосом ГВС, тоже не вполне стабильно.

Отличие схемы №3 (рис.4) от схемы №2 в том, что насос ХВС стабилизирует давление между теплообменниками, это решение иногда применяется, оно дает преимущества в том, что обеспечивает большую чувствительность системы регулирования при изменении водоразбора и позволяет несколько снизить уставку давления, не ухудшая комфортности водоснабжения.

В исследованиях данной схемы уставки давлений ХВС и ГВС не изменялись. Однако, насос ГВС стал хорошо обеспечивать разность давлений между своим входом и выходом, более четко и глубоко по своему расходу реагировать на изменение разбора горячей воды.

Отличие схемы №4 (рис.5) от схемы №3 в том, насос ГВС стабилизирует на своем входе не давление воды, а ее температуру (температуру обратной ветви ГВС). Контура регулирования ХВС и ГВС оказались независимы, это удобно, их можно использовать по отдельности. Учитывая приблизительную стабильность температуры на прямой ветви ГВС, которая в принципе должна поддерживаться автоматически независимым контуром регулирования теплоносителя, поддержание стабильной температуры обратной ветви ГВС аналогично регулированию разности температур.

На рис.6 представлены экспериментально полученные графики изменения давления на выходе насоса ХВС (кривая 1), входе насоса ГВС (кривая 2) и разности температур воды на прямой и обратной ветвях ГВС (кривая 5) для данной ЦТП при нерегулируемых насосах (схема №1) в течение одного рабочего дня недели (рис.6а) и одного выходного дня (рис.6б). На этих же рисунках даны записанные в те же дни другой недели графики давления в местах установки датчиков обратной связи по давлению ХВС (прямая 3, для схем №2, 3 и 4) и ГВС

(сплошная кривая 4 для схемы №2 и пунктирная для схемы №3), а также график температуры на обратной ветви ГВС (кривая №6 для схемы №4). Сопоставление графиков показывает эффективность замкнутых САУ, общее снижение давления, стабилизацию температуры обратной ветви ГВС. Это те эффекты, на которые рассчитывают при автоматизации водоснабжения домов, но они значительно отличаются для трех исследованных структурных схем.

Полученные в результате исследований объективные данные позволили провести расчеты показателей эффективности ресурсо- и энергосбережения системы комплексной автоматизации насосов ХВС и ГВС ЦТП №739/015.

На рис.7 дано сопоставление в денежном выражении исследованных схем по экономии электроэнергии и воды в части ХВС, а на рис.8 – по электроэнергии и теплоте в части ГВС системы водоснабжения.

Разделение учета показателей эффективности автоматизации ГВС и ХВС в данной системе условно, поскольку снижение среднего давления производится во всей системе водоснабжения, следовательно, это отражается на расходе горячей воды и приводит к экономии теплоты. Сопоставление результатов свидетельствует, что наиболее эффективна структура, данная на рис.5 (схема №4). Она и должна быть основной при комплексной автоматизации ЦТП.

В результате проведенных экспериментальных исследований на ЦТП №739/015 ЦАО г.Москвы комплексной системы автоматизации насосов ХВС и ГВС установлено следующее:

1.Определена наиболее эффективная структура по максимуму энерго- и ресурсосбережения (электроэнергия, вода и теплота) при комплексной автоматизации насосов ХВС и ГВС путем применения частотного регулирования электродвигателей насосов для ЦТП, обслуживающих дома в районах старой застройки.

2.По сравнению с нерегулируемым режимом управления насосами получена экономия потребления:

- 36 % по электроэнергии (34,3% - ХВС, 44,5% - ГВС);
- 20,4 % по воде;
- 29 % по теплоте.

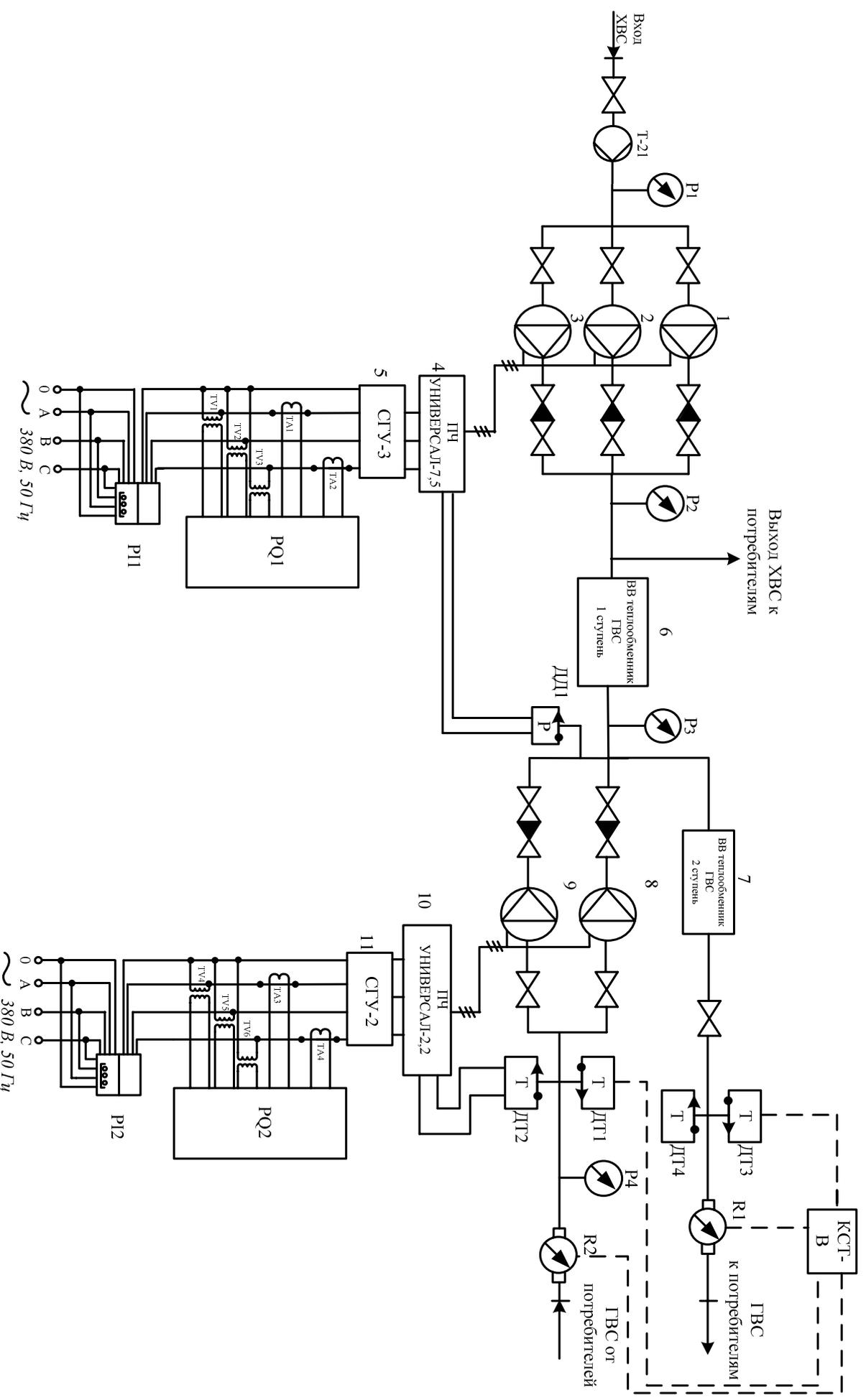


Рис.5. Структурная схема №4 комплексной автоматизации ХВС и ГВС.

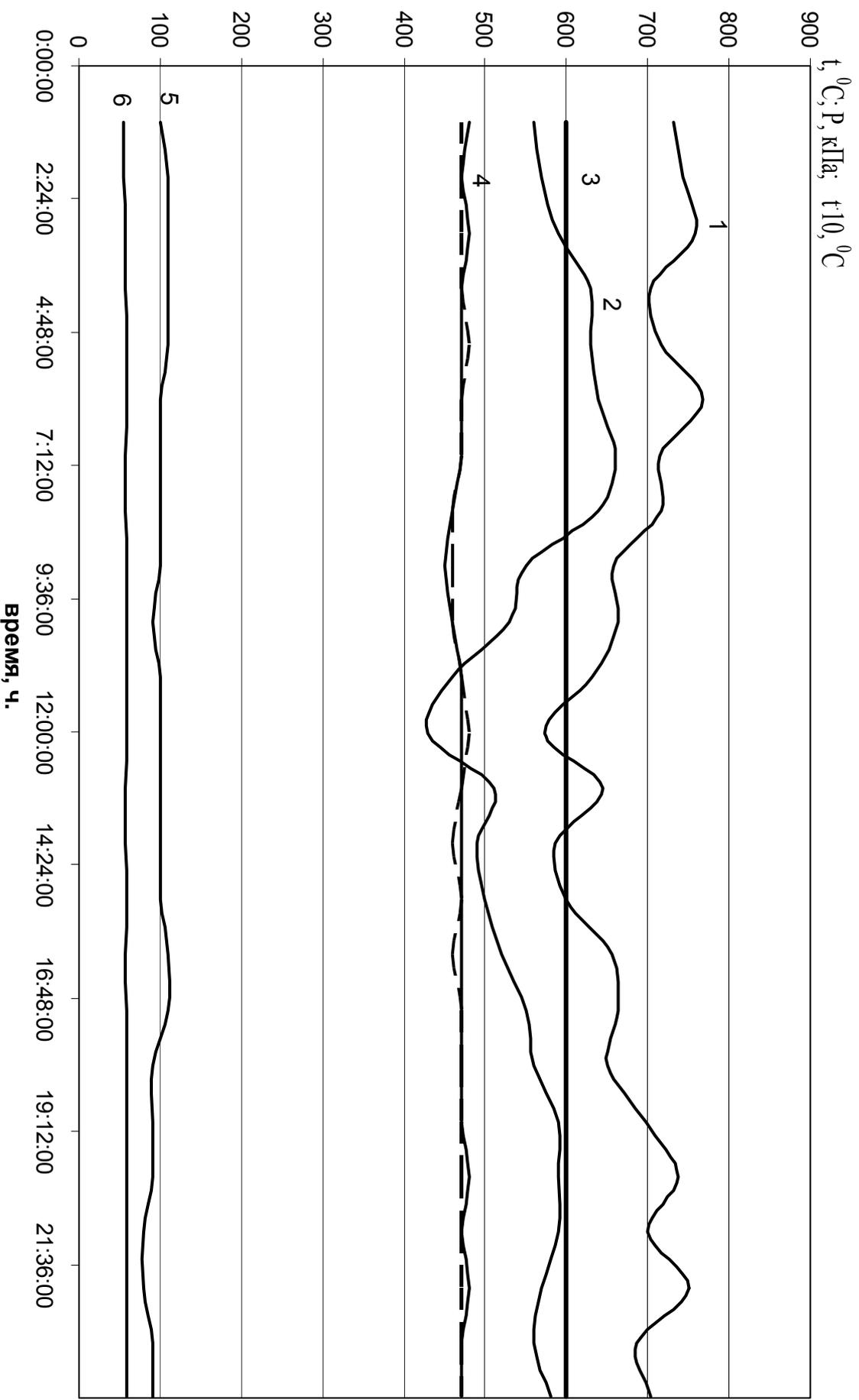


Рис.6 а

Суточные графики (вторник) давлений на выходе насоса ХВС (1, схема №1), входе насоса ГВС (2, схема №1), в месте съема сигналов о.с. по давлению ХВС (3, схемы №2,3 и 4) и ГВС (4 сплошная, схема №3; 4 пунктирная, схема №3); разности температур прямой и обратной ветвей ГВС (5, схема №1); температуры обратной ветви ГВС (6, схема №4).

$t^{\circ}\text{C}$; P, кПа; t_{10} , $^{\circ}\text{C}$

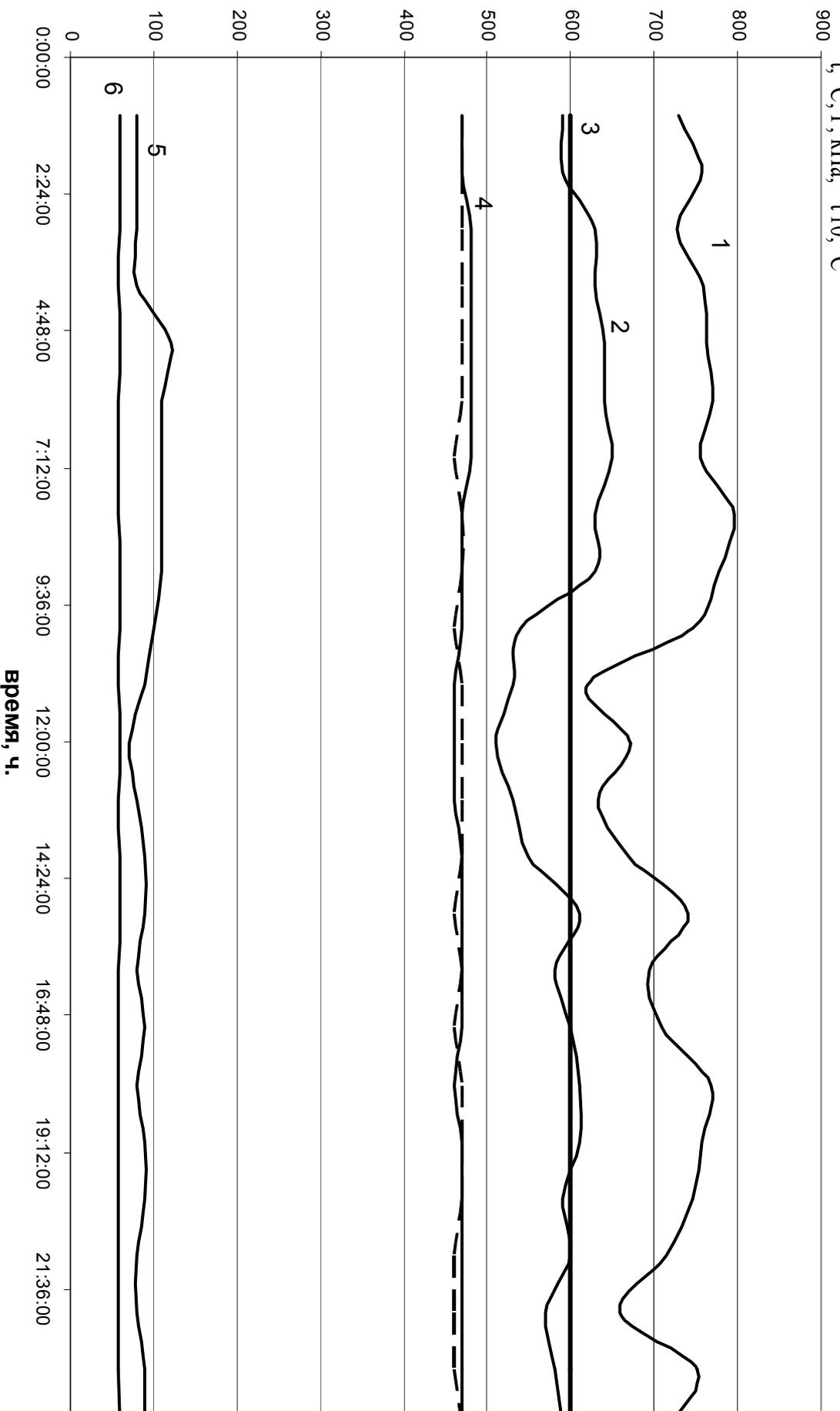


Рис. 6 б

Суточные графики (суббота) давлений на выходе насоса ХВС (1, схема №1), входе насоса ГВС (2, схема №1), в месте съема сигналов о.с. по давлению ХВС (3, схемы №2, 3 и 4) и ГВС (4 сплошная, схема №2; 4 пунктирная, схема №3); разности температур прямой и обратной ветвей ГВС (5, схема №1); температуры обратной ветви ГВС (6, схема №4).

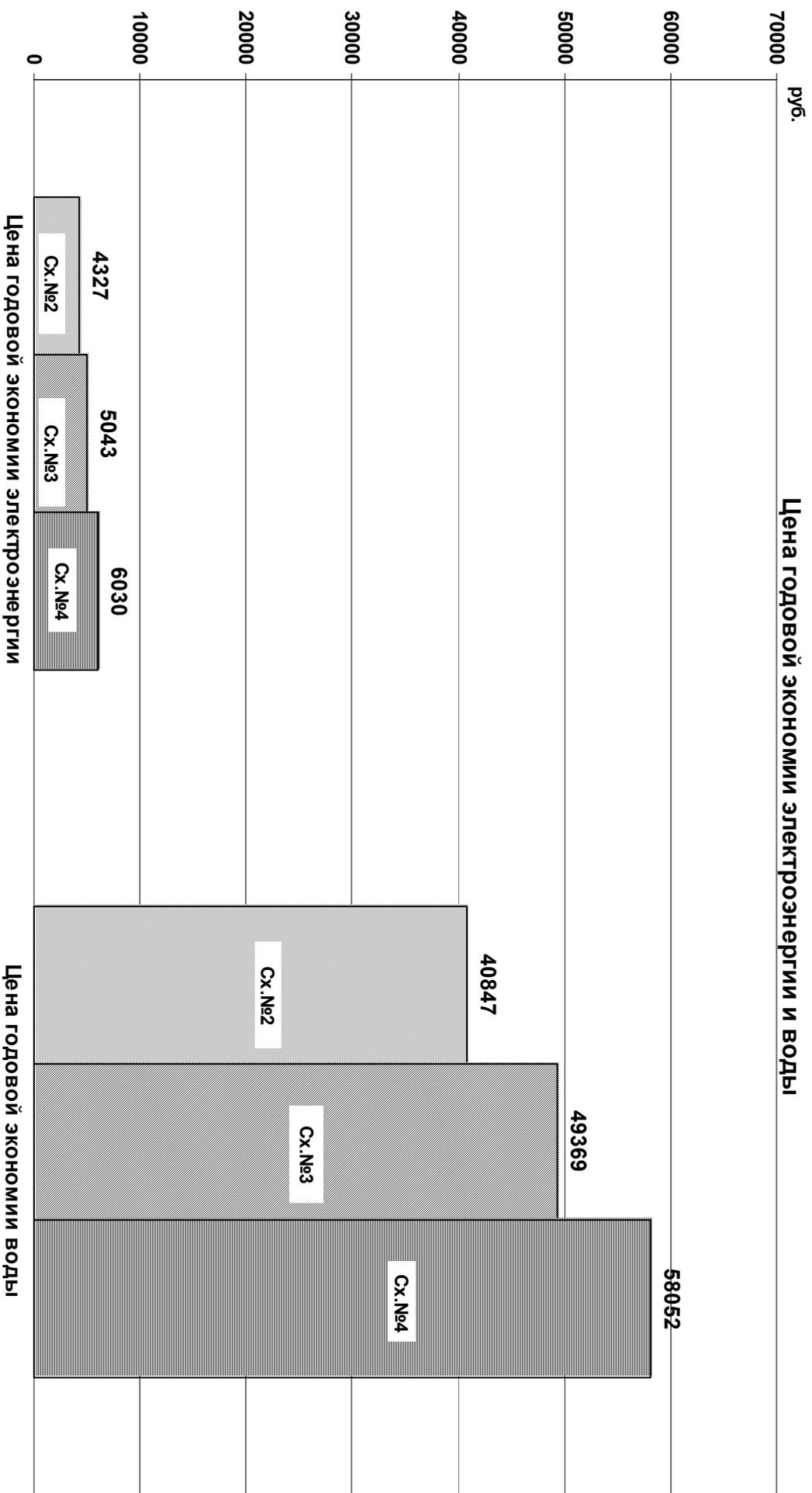


Рис. 7. Цена годовой экономии электроэнергии и воды в системе ХВС.

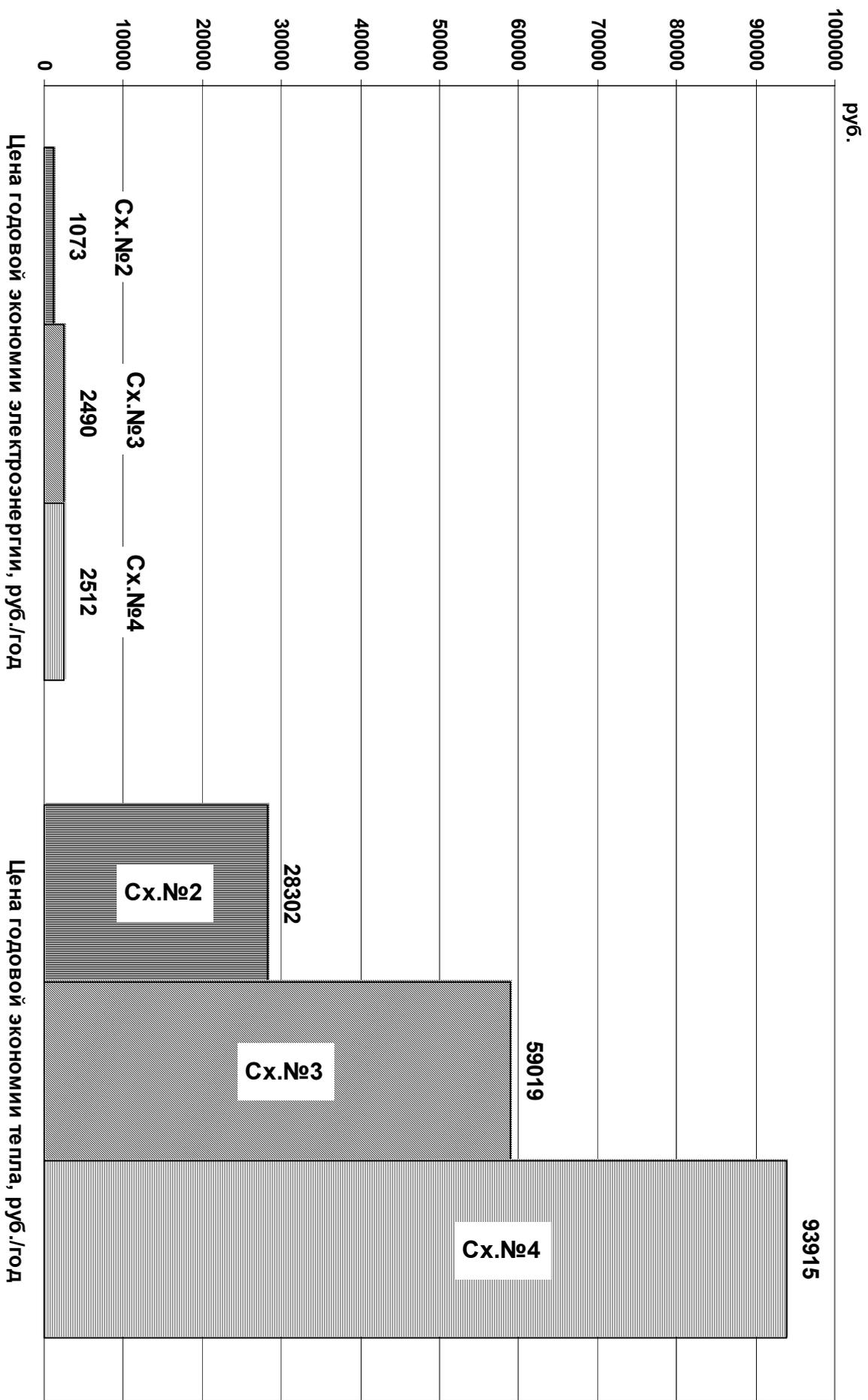


Рис. 8. Цена годовой экономии электроэнергии и тепла для системы ПВС.

3. Комплексная автоматизация отличается высокой эффективностью – срок окупаемости комплектного энергосберегающего оборудования и затрат на его установку на данной ЦТП составляет 8,5 месяца.

4. Использование при автоматизации созданного комплектного энергосберегающего оборудования для управления насосами ХВС и ГВС на ЦТП в составе автоматического регулятора приводов переменного тока (преобразователя частоты) типа «Универсал», станции группового управления СГУ на 2 или 3 насоса и датчика технологического параметра (давления или температуры) на каждую из двух групп насосов (ХВС и ГВС) показало, что:

- *оборудование обладает высокой надежностью;*
- *отличается всеми необходимыми для энергосбережения функциями;*
- *доступно для управления оперативным и электротехническим персоналом ЦТП без дополнительного обучения;*
- *приспособлено к специфике эксплуатации в условиях ЦТП;*
- *дешевле зарубежных аналогов.*

Данное комплектное оборудование может служить основой импортозамещения при автоматизации ЦТП.