

**Энергетика. Автоматика**

УДК 620.9:658.011.56

Ю.С. Лопухин, Д.А. Теличенко

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК  
ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ\***

*В статье решена задача построения автоматизированных систем регулирования для паровой турбины. Предложен подход, обеспечивающий хорошую помехозащищенность системы при наименьших финансовых затратах.*

*Ключевые слова: автоматизация, паровая турбина, цифровая передача данных, электрическая схема соединения.*

**AUTOMATION AUXILIARY PLANT OF STEAM TURBINE**

*In this paper we solve the problem design of automated control systems for the steam turbine. The approach provides good noise immunity system, with minimum financial cost.*

*Keyword: automation, steam turbine, digital data transfer, electrical wiring diagram.*

**Введение**

Автоматизация производства – это подход, в рамках которого функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Введение автоматизации на производстве позволяет значительно повысить производительность и эффективность труда, сократить долю рабочих и персонала предприятия, а вследствие этого увеличить надежность и обеспечить высокое качество продукции.

Развитие новых информационных технологий привело к тому, что современные автоматизированные системы широко используют цифровые алгоритмы и средства обработки данных. Вес и роль аналоговых средств существенно снизились в силу недостаточности точности, стабильности, функциональной гибкости и технологичности. Основная область применения аналоговых устройств – предварительная обработка сигналов для преобразования их в цифровой формат – теперь используется не так широко. Новые технологии обработки данных позволили существенно расширить функциональные возможности и сложность решаемых проблем. В настоящее время системы автоматизации могут эффективно функционировать на уровнях, начинающихся от управления отдельными узлами и устройствами и заканчивающихся управлением технологическими установками и целыми производствами [1].

Важнейшим фактором развития технологий автоматизации является интеллектуализация устройств, включая и устройства, выполняющие наиболее простые функции: измерение

---

\* Работа выполнена в СКБ АмГУ «Автоматизация и регулирование».

управляющих и регулирующих величин, управление механизмами и клапанами и т.п. Кроме необходимых основных функций, «умные» технические средства могут реализовать множество вспомогательных, зачастую более сложных алгоритмов преобразования данных при относительно небольших дополнительных затратах.

Несмотря на открывающиеся и очевидные преимущества современных информационных технологий, одно из ключевых производств тепла и электрической энергии – ТЭЦ – остаются в числе аутсайдеров по применению современных подходов к созданию автоматизированных систем.

### Объект автоматизации

В качестве объекта автоматизации в статье рассматривается турбоагрегат ПТ-60-130/13, установленный на Благовещенской ТЭЦ. Принципиально отличных систем автоматического регулирования (САР) здесь три класса – мощности, давления и уровня (уровень в конденсаторе, охладителях уплотнений, в понизителях низкого и высокого давлений). При этом мощность агрегата поддерживается встроенным в механизм турбины регулятором и модернизации не подвергается. Здесь же рассматриваются два примера – по одному для каждого из классов регулирования уровня и

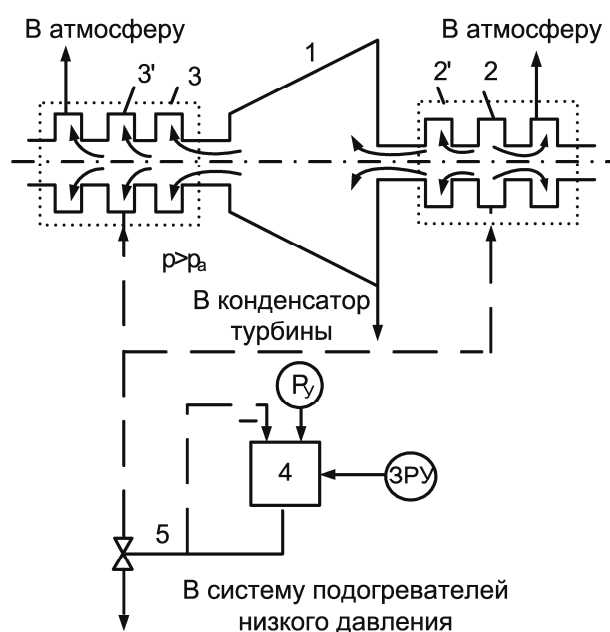


Рис. 1. Система регулирования давления пара в лабиринтных уплотнениях турбины: 1 – турбина; 2, 2', 3, 3' – камеры уплотнений; 4 – регулятор давления; 5 – регулирующая заслонка; ЗРУ – задающее регулирующее устройство;  $P_y$  – давление на уплотнение.

Камеры уплотнений 2, 2' и 3, 3' находятся под избыточным давлением, подводимым от внешнего источника. Обычно используют пар переднего уплотнения турбины 1, находящегося под давлением.

В системе автоматического регулирования подачи пара на уплотнение используют регулятор давления, поддерживающий необходимое избыточное давление в общем коллекторе уплотнений в пределах 3...5 кПа (0,03...0,05 кгс/см<sup>2</sup>). Регулятор воздействует на положение регулирующей заслонки 5, расположенной на трубопроводе отвода пара из коллектора в эжектор, систему подогревателей низкого давления или в атмосферу.

давления, что впоследствии по аналогии поможет спроектировать всю систему целиком.

Рассматриваемые системы относятся к вспомогательным, одна предназначена для регулирования давления пара на лабиринтовые уплотнения, другая управляет уровнем воды в конденсаторе.

САР давления пара на лабиринтовые уплотнения. Лабиринтовые уплотнения устанавливают в местах выхода вала из корпуса турбины [2]. Они препятствуют выходу пара в атмосферу и проникновению воздуха в корпус турбины. В многоцилиндровых турбинах давление пара в местах уплотнения является переменной величиной. Численное значение давления зависит от нагрузки и может оказаться выше или ниже атмосферного. Это вынуждает снабжать устройство подачи пара к уплотнениям автоматической системой регулирования. Принципиальная структурная схема показана на рис. 1.

САР уровня воды в конденсаторе. Среднее значение уровня воды в конденсаторе поддерживают по возможности постоянным, независимо от расхода пара через турбину или режима ее работы (теплофикационного или конденсационного).

Стабилизация уровня необходима по условиям устойчивой работы конденсатных насосов и эжекторов [2].

Принципиальная схема регулирования уровня воды в конденсаторе – на рис. 2.

Регулирование уровня воды осуществляют изменением подачи конденсатных насосов 5 при воздействии на двухпоточный клапан 3, 4. При снижении уровня вследствие сброса нагрузки турбины рабочий клапан 4 прикрывают, обеспечивая требуемый нерегулируемый пропуск воды в системе охлаждения эжекторов 6 и регенеративных подогревателей. При дальнейшем снижении уровня начинают открывать клапан рециркуляции 3, поддерживая уровень воды в конденсаторе.

Обычно на регулятор уровня 2 поступают два входных сигнала – по уровню конденсата  $H_k$  и по положению регулирующего органа (так называемая жесткая обратная связь – ЖОС).

Заметим, что подход к регулированию уровня в конденсаторе, с точки зрения проектирования аппаратной части, может быть распространен и на все другие системы (уровень в охладителе уплотнений; уровни в ПВД-5,6,7; ПНД-2,3,4 и т.п.).

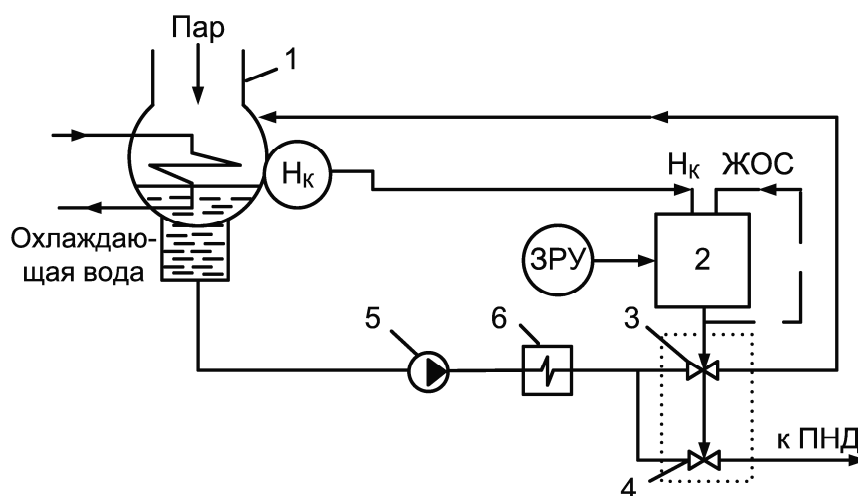


Рис. 2. Система регулирования уровня конденсата в конденсаторе турбины:

1 – конденсатор; 2 – регулятор уровня; 3, 4 – спаренный регулирующий орган; 5 – конденсатный насос; 6 – эжектор; ПНД – подогреватель низкого давления; ЗРУ – задающее регулирующее устройство; ЖОС – жесткая обратная связь.

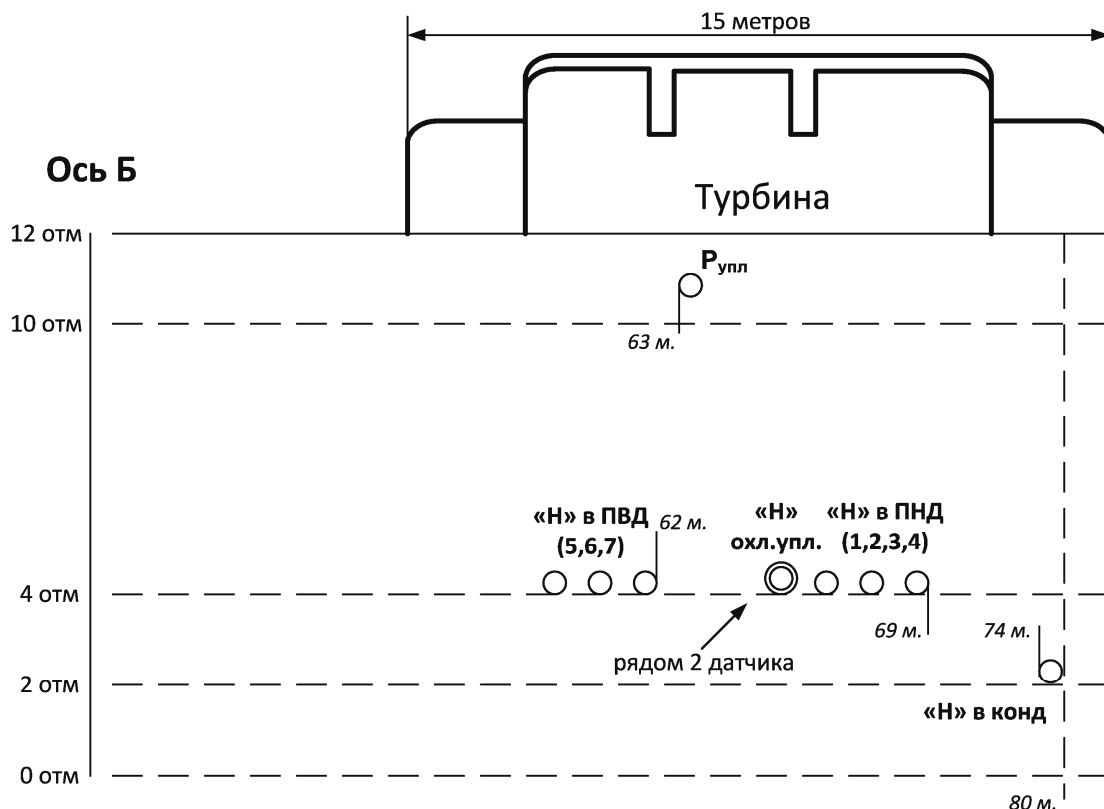
## Построение автоматизированной системы

В настоящее время на Благовещенской ТЭЦ интеллектуальное оборудование используется, к сожалению, не в полной мере.

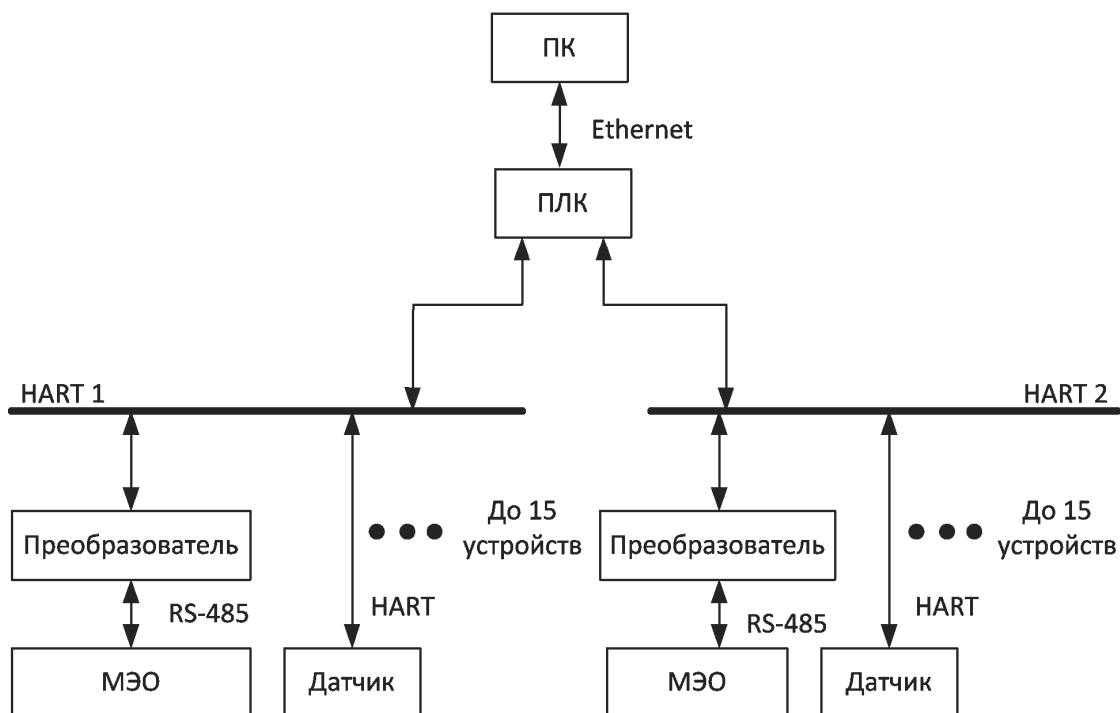
Между тем современное оборудование позволяет создать распределенную систему, в которой не будет необходимости прибегать к классическому способу регулирования с применением задающих устройств и блоков управления. Однако при проектировании следует соблюдать принцип минимальных видоизменений при полном выполнении поставленных задач.

Обследование на Благовещенской ТЭЦ выявило схему установки измерительных преобразователей, отраженную на рис. 3. При этом контроллер системы регулирования располагается на щите (отметка 12), на достаточно большом расстоянии от основного оборудования, а исполнительные механизмы – группой между щитом и турбиной (отметка 12, ось 7Б).

*Концепция построения системы.* В настоящей работе предлагается подход, в рамках которого большая часть информации будет передаваться непосредственно от устройств по протоколам



передачи данных HART, ModBus либо по каналу передачи последовательных соединений Ethernet к контроллеру (ПЛК), а далее к персональному компьютеру (ПК) оператора. На рис. 4 приведена



структурная схема предлагаемой системы.

На рис. 3 приведена схема с централизованной структурой управления (один ПЛК) и интерфейсной организацией связи между датчиками, исполнительными механизмами и контроллерами.

Рис. 3. Расположение датчиков на турбине.

Рис. 4. Схема проектируемой системы.

На ПК оператора все объекты регулирования управляются посредством современной SCADA-системы TraceMode.

Данный подход к созданию системы позволяет сэкономить на кабеле, обеспечивает высокую помехозащищенность и более качественное сопряжение устройств нижнего уровня с устройствами верхнего уровня; повышается качество управления и реализуются функции резервирования за счет вывода всей информации на один или несколько ПК.

*Аппаратная часть.* Продолжение работы над созданием автоматизированной системы – выбор технических средств, к которым относят все элементы системы, задействованные для выполнения поставленной задачи.

При проектировании автоматической системы необходимо знать информацию об объекте, – например, габаритные размеры и материал объекта регулирования, учитывать условия окружающей среды и расстояние между контроллером и измерительными приборами. При выборе технической аппаратуры необходимо учитывать их инерционность, которая должна быть значительно меньше инерционности объекта [3].

К датчикам, как правило, предъявляют следующие требования: линейность и однозначность статической характеристики, высокая чувствительность, быстродействие, взаимозаменяемость однотипных устройств [3].

Выбор всех устройств производился исходя из условий эксплуатации, технических характеристик и экономии.

Для создания работоспособной системы необходимо следующее оборудование: механизмы электрические однооборотные (МЭО), блок управления электроприводом, датчики давления, контроллер (или контроллеры), кабель для соединения и питания, блоки питания.

В соответствии с технологическим процессом исполнительные механизмы типа МЭОФ (фланцевые) будут иметь технические характеристики, показанные в табл. 1 (представлены используемые на предприятиях агрегаты для данного технологического процесса).

Таблица 1

#### Технические характеристики исполнительных механизмов

Условное обозначение механизмов	Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н*м	Номинальное время полного хода выходного вала, сек.	Номинальное значение полного хода выходного вала
МЭОФ-250/25-0,25 99К	250	25	0,25
МЭОФ-250/25-0,63 99К	250	25	0,63

МЭО можно подобрать любой фирмы с подходящими параметрами. В рамках оговоренных выше принципов построения системы было принято решение оставить без изменения МЭО, но оснастить его блоком, благодаря которому серийные и вновь разрабатываемые электропроводы приобретают новые качества, становятся интеллектуальными. Таких блоков существует несколько: контроллер исполнительного механизма (КИМ1), контроллер электропривода (КЭП), устанавливаемый вместо БСПТ, устройства, устанавливаемые отдельно от МЭО, пускатели бесконтактные реверсивные (ПБР-3И, ПБР-2И), блоки управления электродвигателями реверсивные – БУЭР.

Устройством сопряжения исполнительного механизма и сети связи с контроллером стал блок КЭП, поскольку он подходит по требованиям и для него имеется программное обеспечение, позволяющее наблюдать за всем процессом.

Датчики перепада давления выбирались исходя из технических характеристик заменяемого оборудования. Принимался во внимание и тот факт, что новые датчики должны иметь возможность обмениваться данными по протоколу HART.

Модели датчиков, подлежащих замене, их условное обозначение и технические характеристики приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Технические характеристики датчиков

Тип датчика	Условное обозначение	Модель датчика	Верхний предел измерений, кПа	Сигнал, мА	Количество, шт.
Сапфир-22М-ДД	<i>H</i> в ПВД	2420, 2430	10	5-0	3
ДМЭ-МИ	<i>H</i> в ПНД	-	10	5-0	5
Сапфир-22-ДД	<i>H</i> в конд-ре	2440	10	5-0	1
Сапфир-22-ДД	<i>P</i> пара	2440	40	0-5	1

При помощи датчиков Сапфир-22М-ДД и ДМЭ-МИ регулируются уровни конденсата в ПВД и ПНД соответственно. Датчики типа Сапфир-22-ДД отвечают за регулирование уровня конденсата в конденсаторе и давления пара на уплотнение.

Датчики давления типа ДМЭ-МИ предлагается заменить измерительными преобразователями

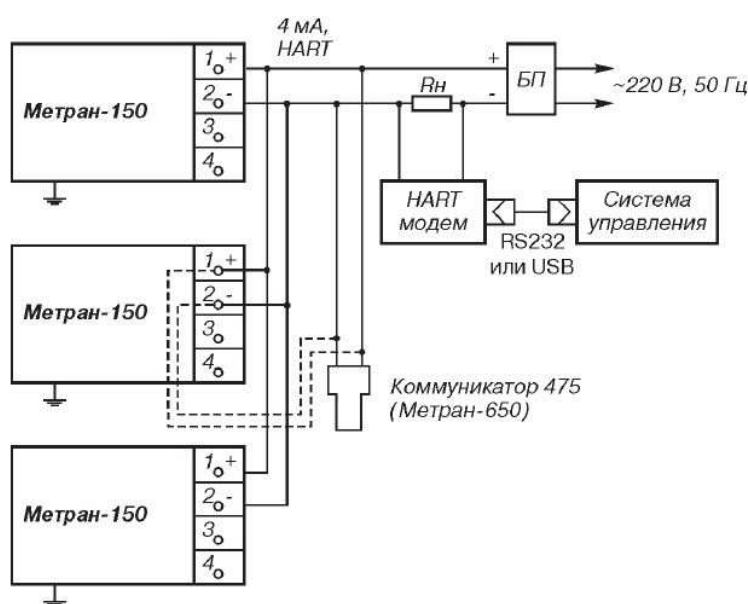


Рис. 5. Схема подключения датчиков Метран-150.

фирмы Метран (типа Метран-150). Поскольку на производстве используются датчики разных фирм, в нашей системе не будет преобразователей одного типа.

Измерительный преобразователь Метран-150 предназначен для измерения и непрерывного преобразования в унифицированный аналоговый сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART либо цифровой сигнал на базе интерфейса RS-485 такой входной величины как разность давлений.

На рис. 5 приведена схема внешних электрических соединений Метран-150 при обмене данными по HART-протоколу, с кабельным вводом

для работы в сети с сопротивлением нагрузки  $R_H \geq 250$  Ом (здесь  $D$  – датчик,  $БП$  – блок питания,  $R_H$  – сопротивление нагрузки).

Питание датчиков осуществляется источниками питания БП14Б-Д4.2-36 фирмы ОВЕН. Многоканальный блок БП14Б-Д4.2-36 предназначен для питания стабилизированным напряжением постоянного тока датчиков с унифицированным выходным токовым сигналом.

Измерительные преобразователи типов Сапфир-22М-ДД и Сапфир 22-ДД были заменены на датчики фирмы ОВЕН ПД200-ДД.

Рабочая среда для преобразователей – жидкости (в том числе техническая вода), пар, газы, парогазовые и газовые смеси при давлении, не превышающем верхний предел измерения

преобразователя, и нейтральные или неагрессивные по отношению к контактирующим с ними материалам преобразователей. Схема подключения датчиков ОВЕН показана на рис. 6.

Измеряемое давление преобразуется в унифицированный токовый выходной сигнал 4–20 мА и цифровой сигнал стандарта HART.

Этот цифровой сигнал может приниматься и обрабатываться любым устройством, поддерживающим протокол HART (например, HART-коммуникатором или ПК с HART-модемом).

Вычислительный блок имеет в своем составе аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер (МК), стабилизатор питающего напряжения и формирователь выходного сигнала (ЦАП с выходным токовым сигналом и/или HART-модем).

Для считывания сигнала с датчиков, преобразования и передачи его на ПК необходимо один или несколько контроллеров. Поскольку пока число контроллеров, поддерживающих одновременно прием сигналов с HART-устройств и сети с интерфейсом RS-485, немного, используем подход, основанный на применении двух контроллеров.

Первый контроллер ОВЕН ПЛК-308 (верхнего уровня) имеет возможность принимать сигнал по интерфейсу RS-485 и передавать его далее к ПК оператора по сети Ethernet. Он также будет решать задачи управления технологическим процессом.

Второй контроллер расширения KP-HART предназначен для ввода сигналов с датчиков и устройств, поддерживающих HART-протокол, и передаче этих данных по ModBus-протоколу на уровень выше. Контроллер обеспечивает циклический опрос от 1 до 15 HART-устройств. В случае подключения одного HART-устройства ему присваивается нулевой адрес, и выходной токовый сигнал может изменяться в диапазоне 4–20 мА. Питание контроллера можно осуществлять как от ПК или контроллера верхнего уровня по линиям DTR/RTS порта RS-232, так и от внешнего источника. При работе через интерфейс RS-485 контроллер должен быть подключен к внешнему блоку питания постоянного напряжения 5..9 В.

На рис. 7 показана схема соединения датчиков, контроллера (с использованием выхода RS-485) и ПК (контроллера верхнего уровня).

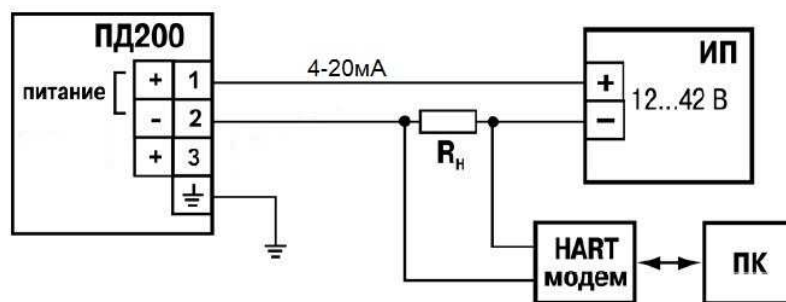


Рис. 6. Схема внешних электрических соединений преобразователей общепромышленного исполнения.

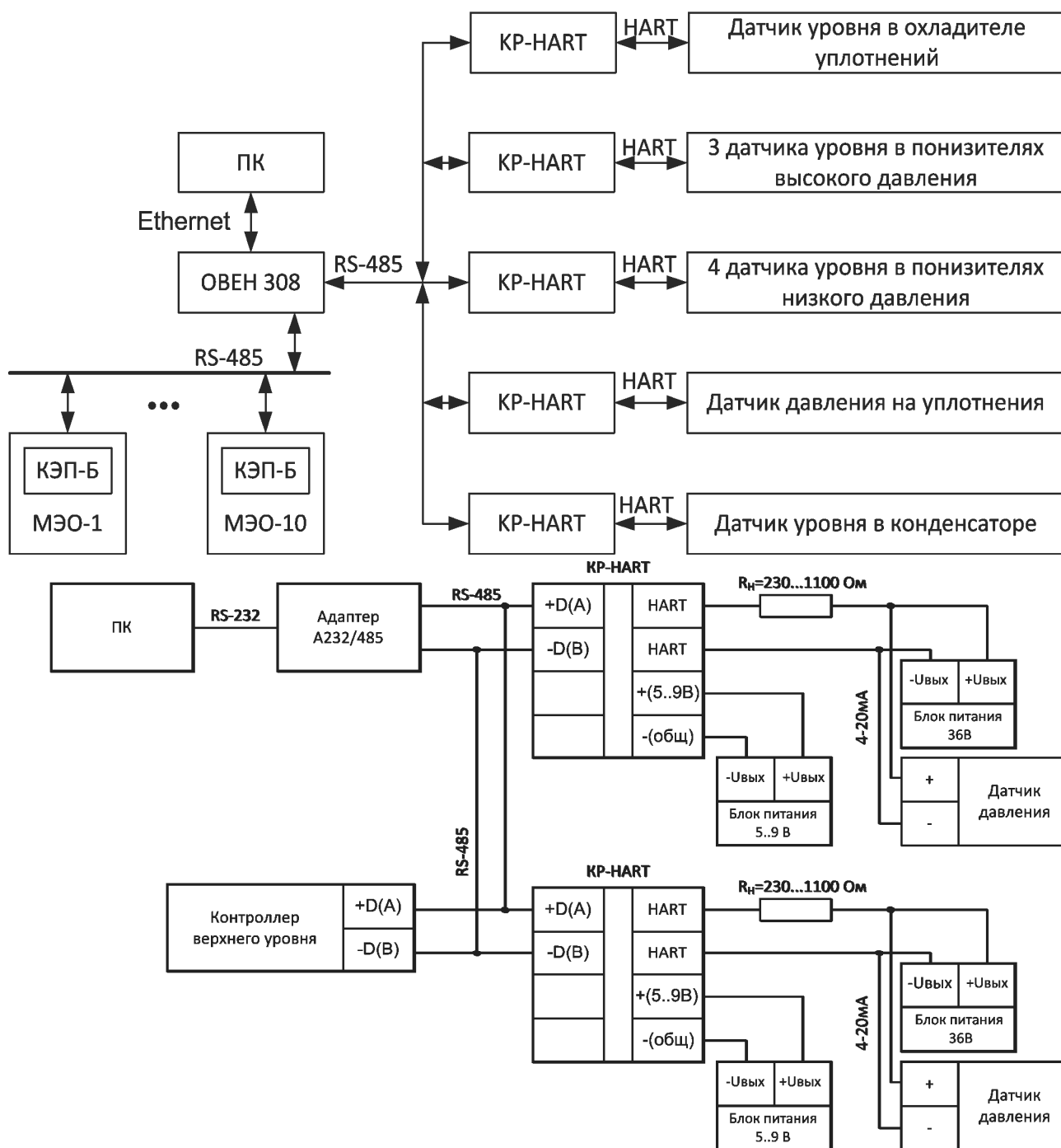


Рис. 7. Схема соединения датчиков и системы контроля.

Таким образом, с учетом выбора типа и способа подключения исполнительных механизмов, датчиков и контроллеров принципиальная схема системы примет вид, изображенный на рис. 8.

Рис. 8. Принципиальная схема разработанной системы.

Полная схема электрических соединений всех приборов и оборудования представлена на рис. 9.



**Заключение**

В работе осуществлен анализ систем автоматизации вспомогательных установок паровой турбины ТЭЦ. Выявлены недостатки используемых подходов и найдены пути их преодоления. Предложена структура распределенной системы управления. Осуществлена замена оборудования и разработана принципиальная электрическая схема. Предложенный подход обеспечивает высокое качество работы систем регулирования, большую помехозащищенность при минимальных финансовых затратах на модернизацию.

---

1. Иванов, Ю.И. Интерфейсы средств автоматизации: Учебное пособие / Ю.И. Иванов, В.Я. Югай. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 252 с.

2. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: Учебник для студентов вузов. – Изд. 4-е, стереот. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 352 с.

3. Мартыненко, А.В. Автоматизированные системы сельскохозяйственного назначения. – М.: Энергия, 1982. – 315 с.

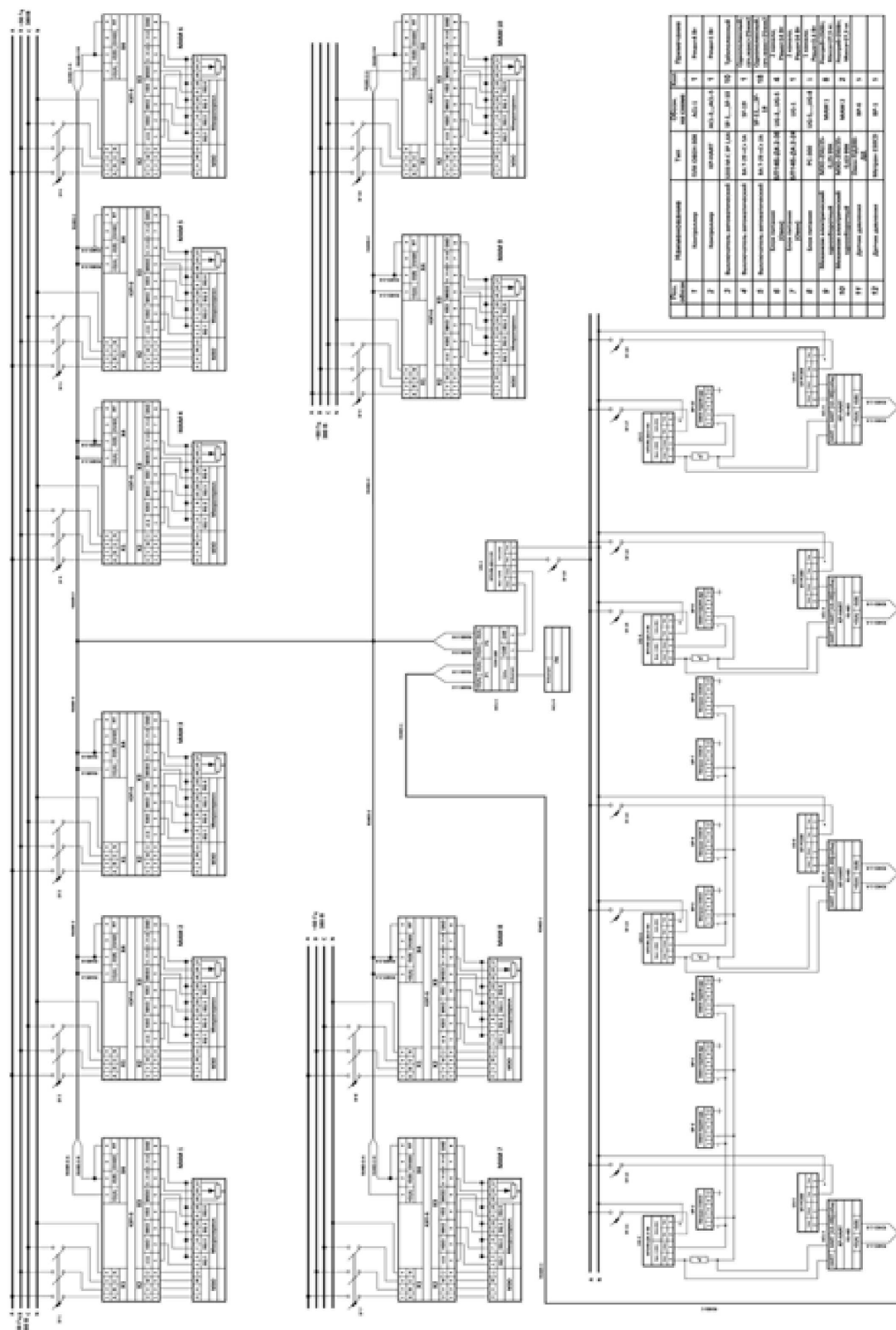


Рис. 9. Полная схема соединения всех приборов системы.

