

Универсальная система автоматизированного управления тепловыми двигателями и агрегатами на их основе

Николай Коробкин, Борис Лопаткин, Владимир Липчук

В статье анализируется опыт разработки и эксплуатации системы автоматизированного управления дизель-генераторной установкой мощностью 1000 кВт.

Введение

Анализ применения систем комплексной автоматизации силовых установок с тепловыми двигателями позволяет констатировать, что главным вопросом остаётся надёжность. Использование микропроцессорной техники значительно расширяет возможности систем автоматизированного управления (САУ), но далеко не всегда обеспечивает необходимую безотказность в работе. Часто потребитель отдаёт предпочтение морально устаревшим, но доведённым релейным системам автоматики.

Нами была поставлена задача создать САУ, сочетающую самую передовую технологию преобразования информации с многократным повышением эксплуатационной надёжности. Достижение поставленной цели базировалось на двух основополагающих решениях.

1. Применение готовых широко тиражируемых промышленных компьютеров с мощным вычислительным потенциалом в качестве основного системного блока САУ.

2. Сосредоточение усилий на разработке совершенных алгоритмов и программ управления, широко использующих принципы структурного и функционального резервирования для повышения работоспособности системы в целом.

Надёжность функционирования САУ определяется не только блоком управ-

ления, но и работой датчиков, преобразователей, исполнительных устройств и соединительных цепей. Для многократного повышения надёжности системы по выходам из строя перечисленных узлов применено структурное и функциональное резервирование, сохраняющее работоспособность САУ при отказе отдельных узлов до возможного уровня общей деградации системы (принцип допустимой деградации используется в системах управления космическими аппаратами).

В целом центральным элементом разработанной САУ можно считать уникальное программное обеспечение, позволяющее легко формировать различные алгоритмы управления, делая систему универсальной.

Благодаря мощному вычислительному потенциалу, в САУ попутно реализована функция «чёрного ящика», то есть автоматическая регистрация в памяти компьютера всех происходящих с объектом управления событий за несколько последних месяцев эксплуатации. Накопленная информация в виде специального протокола может быть просмотрена на экране прибора САУ или передана на магнитном носителе для последующей обработки.

САУ может работать совместно с любыми гидромеханическими и электронными регуляторами частоты вращения.

В данной статье приводится краткое техническое описание конкретной реализации САУ АДГ-1000 4.1 для судового дизель-генератора АДГ-1000.

САУ АДГ-1000 4.1 предназначена для управления запуском, работой и остановкой дизель-генераторной установки мощностью 1000 кВт на базе дизеля 8ДМ21 или других модификаций и выполняет функции контроля исправности датчиков, исполнительных устройств и механизмов, управления процессом запуска дизель-генератора (ДГ), подключения нагрузки, контроля основных параметров ДГ (давление масла, температура охлаждающей жидкости, частота вращения коленвала и т. п.), а также управления процессом отключения нагрузки, планового и экстренного останова ДГ по заданным алгоритмам с непрерывной фиксацией всех происходящих событий в специальном протоколе, который может быть затем в необходимых случаях проанализирован обслуживающим персоналом.

Кроме того, прибор САУ АДГ-1000 4.1 можно использовать в качестве стендового оборудования для проверки и отладки алгоритмов управления дизель-генераторами в зависимости от мощности, назначения агрегата (аварийный, резервный, дополнительный источник энергии) и режима работы (автономный режим, параллельная работа).

Функциональная схема САУ АДГ-1000 4.1

Укрупненная функциональная схема прибора САУ АДГ-1000 4.1 представлена на рис. 1. В его состав входит IBM PC совместимый промышленный компьютер MiPC50 фирмы Advantech с процессором Intel 386-SX, цветным жидкокристаллическим дисплеем, жестким диском 120 Мбайт, накопителем на гибких дисках 1,44 Мбайт, последовательным и параллельным портами, с возможностью подключения полной клавиатуры.

В качестве плат расширения используются PCL-731 — плата ввода/вывода дискретных сигналов на 48 линий и PCL-818L — плата ввода 16 аналоговых сигналов и ввода/вывода 16 дискретных сигналов.

Для связи с ДГ к плате ввода/вывода PCL-731 подключаются две специализированные платы: PCLD-785B (24 программно управляемых реле) для формирования команд и PCLD-782B (24 входа с оптической развязкой), содержащая светодиоды для визуального анализа состояния входных сигналов.

К плате PCL-818L для ввода аналоговых сигналов подключается плата PCLD-815. Все платы для связи с ДГ имеют набор контактных клемм для подключения внешних цепей.

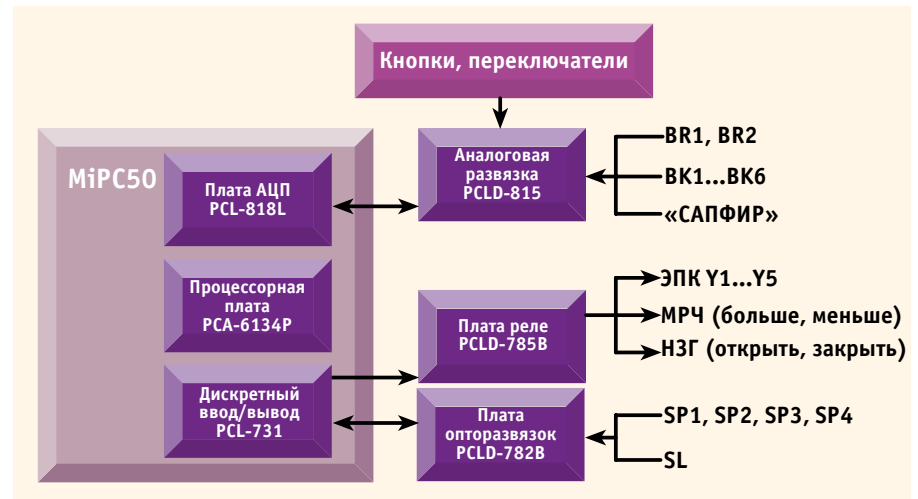
Внешний вид прибора САУ изображен на рис. 2. Прибор размещен в металлическом прямоугольном корпусе размером 520 × 520 × 240 мм. На передней открывающейся панели находятся дисплей компьютера и органы управления прибором САУ и ДГ. В нижней стенке корпуса установлены сальники для кабелей, соединяющих прибор САУ с ДГ.

Органы управления САУ АДГ-1000 4.1

На передней панели внизу слева размещен выключатель прибора САУ с индикатором красного цвета. Включение прибора производится поворотом ключа по часовой стрелке на 90°. При этом загорается сигнальная лампа и на дисплее примерно через 30 секунд, необходимых для загрузки системы, появляется панель управления САУ (рис. 3).

На дисплее в нижней части панели управления размещена группа из пяти функциональных кнопок, назначение которых меняется в зависимости от этапа или режима работы прибора САУ. Назначение этих кнопок отображается в нижней части дисплея над соответствующей кнопкой (в дальнейшем условно называть эту группу функциональными кнопками).

Тумблер САУ/МПУ переключает режим управления ДГ. В положении «САУ»



Условные обозначения:

BR1, BR2 — индукционные датчики оборотов; **BK1..BK6** — платиновые термосопротивления типа ТСП-50П; **«САПФИР»** — датчики давления типа «Сапфир»; **ЭПК Y1..Y5** — электропневмоклапаны управления исполнительными устройствами; **МРЧ** — управление механическим регулятором частоты вращения; **НЗГ** — управление наружной захлопкой газоотвода; **SP1** — датчик аварийного давления масла в дизеле («сухой контакт»); **SP2** — датчик пускового давления масла в дизеле («сухой контакт»); **SP3** — датчик засорения маслофильтра («сухой контакт»); **SP4** — датчик аварийного давления масла в подшипниках генератора («сухой контакт»); **SL** — датчик уровня воды в системе охлаждения («сухой контакт»)

Рис. 1. Функциональная схема прибора САУ АДГ 1000 4.1

ДГ управляется командами, поступающими с прибора САУ, в положении «МПУ» прохождение команд с прибора САУ блокируется и ДГ управляется только с местного поста управления, однако все параметры ДГ продолжают контролироваться и отображаются на дисплее.

Кнопка «ПУСК» запускает ДГ при работе в режиме автоматического запуска от САУ.

Кнопка «СТОП» инициирует плановый останов ДГ (работает как в автоматическом, так и в ручном режиме).

Кнопка «ЭКСТРЕННЫЙ ОСТАНОВ» предназначена для экстренного останова ДГ оператором в случае возникновения аварийной ситуации. Кроме этого, режим экстренного останова может быть также инициирован автоматически прибором САУ в случае сра-

батывания защит или возникновения других нештатных ситуаций. Основными отличиями экстренного останова от планового является то, что параллельно с командой планового останова поступает питание на специальный клапан аварийного отключения подачи топлива к двигателю (на случай отказа штатных регулирующих устройств), а также то, что

реализация данной команды осуществлена с помощью специального электромагнитного реле в обход компьютера таким образом, что выдача команды экстренного останова гарантируется даже при полном отказе управляющей ЭВМ.

Кнопка «РУЧНОЙ/АВТОМАТ» переключает режим работы прибора САУ. Исходным после запуска системы является автоматический режим, в котором все операции по запуску и останову двигателя выполняются автоматически после нажатия оператором кнопки «ПУСК» или «СТОП». В случае каких-либо затруднений при пуске в автоматическом режиме оператор в любой момент имеет возможность нажатием данной кнопки перейти в ручной режим. В ручном режиме можно индивидуально управ-



Рис. 2. Внешний вид прибора САУ АДГ 1000 4.1 для управления судовым дизель-генератором

лять каждым исполнительным устройством с помощью функциональных кнопок на дисплее. Последующее нажатие данной кнопки вновь переведет систему в автоматический режим, однако только в том случае, когда есть возможность однозначно определить текущее состояние работы дизель-генератора.

Кнопка «СНЯТИЕ ЗАЩИТ» переводит сработавшие на данный момент защиты в разряд предупреди-

тельных. На дисплее продолжают отображаться данные о сработавших защитах, однако выключаются звуковая сигнализация и мерцание аварийных данных, а также блокируется возможность экстренного останова по соответствующим защитам. Кнопка не влияет на другие каналы защиты, для которых условия срабатывания на данный момент не наступили.

Кнопка «ПРОТОКОЛ» вызывает на экран протокол работы прибора САУ и ДГ на текущий день. С помощью соответствующих функциональных кнопок имеется возможность просмотреть протокол, вывести его на печать или на дискету, а также вызвать другие протоколы за предыдущие дни. Система может хранить до 300 протоколов. При превышении этого значения самые старые протоколы автоматически уничтожаются при очередном запуске прибора САУ.

Кнопка «СНЯТИЕ ЭКСТРЕННОГО ОСТАНОВА» разблокирует работу прибора САУ после выполнения команд аварийного останова (в целях безопасности эта операция выполняется только вручную оператором и работает только при остановленном двигателе). В зависимости от текущего состояния ДГ и органов управления САУ система при этом переходит либо в автоматический, либо в ручной режим.

Программное обеспечение

Программное обеспечение прибора САУ состоит из следующих основных функциональных модулей.

1. Модуль диагностики обеспечивает первоначальное тестирование датчиков и исполнительных устройств системы САУ, отключение неисправных датчиков и внесение необходимых изменений в алгоритмы работы системы с целью сохранения её работоспособности в автоматическом режиме или (если это невозможно) выдачи команды на продолжение работы в ручном режиме.

2. Драйвер связи с аппаратурой обслуживает все операции низкоуровневого обмена с платами ввода/вывода, а также обеспечивает опрос органов управления прибора САУ.

3. Модуль первичных преобразователей преобразует данные, поступающие от драйвера связи с аппаратурой, в массив абстрактных «входов» и «выходов»,

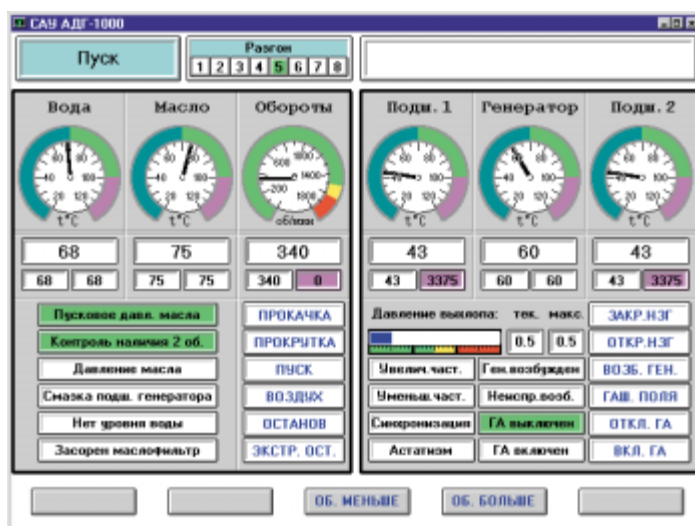


Рис. 3. Панель управления системой отображается на экране встроенного промышленного компьютера

представляющих собой различные аналоговые или дискретные сигналы в системе САУ (в текущей версии может быть до 100 входов и до 100 выходов). Все остальные модули системы имеют дело только с этими абстрактными сигналами, чем достигается относительная простота сопровождения системы, добавления в неё новых возможностей и адаптации к имеющейся аппаратуре.

4. Модуль отображения информации обеспечивает вывод на экран полученных в предыдущем модуле данных в удобной форме, а также отображение текущего режима работы САУ и состояния функциональных клавиш.

5. Модуль обслуживания органов управления отслеживает и фиксирует текущее состояние кнопок управления САУ (с целью использования другими модулями), а также обеспечивает ряд сервисных функций (в частности, «прокрутку» набора функциональных кнопок при необходимости иметь более 5 кнопок одновременно).

6. Модуль защиты непрерывно отслеживает уровни сигналов на нескольких контролируемых каналах с выдачей в необходимых случаях предупредительной или аварийной сигнализации и переходом на одну из программ аварийного останова.

7. Модуль программного управления - основной модуль, обеспечивающий собственную логику работы прибора САУ, т. е. последовательность выдачи выходных сигналов в зависимости от состояния входов в различных режимах работы.

8. Модуль организации цикла опроса отвечает за организацию непрерывного циклического опроса других модулей с периодом времени 0,06-0,2 с (в зависимости от режима работы и объема выполняемых операций).

9. Модуль ведения протокола обеспечивает фиксацию всех происходящих в системе событий в дисковом файле и вывод этой информации за текущий или предыдущие дни на экран, печать или внешний носитель.

10. Модуль автоопределения текущего состояния. В отличие от других аналогичных систем, данный прибор САУ обеспечивает корректное подключение к объекту управления при любом его состоянии (например, при работающем двигателе), а также возможность неоднократного переключения в процессе работы между автоматическим и ручным режимами. Данный модуль используется в тех случаях, когда необходимо определить теку-

щее состояние объекта управления и в соответствии с этим выбрать правильный режим работы САУ.

Идеология алгоритмов управления САУ построена следующим образом. Имеется набор программ, каждая из которых состоит из нескольких последовательно выполняемых ступеней. Для каждой ступени есть соответствующий набор команд, выдаваемых на исполнительные устройства, набор условий, при которых выполняется переход на следующую ступень (задержка по времени или соответствующее состояние датчиков), а также максимальное время ожидания наступления этих условий и номер программы/ступени, на которые выполняется переход при отсутствии этих условий (т. е. аварийное завершение программы). Название и номер текущей выполняемой программы и ступени постоянно отображаются на экране САУ. Кроме этого, можно задать специальные наборы условий и соответствующих им команд, которые будут проверяться и выполняться в каждом цикле САУ, независимо от текущей программы и ступени (или только для заданной программы, но независимо от ступени). Таким образом, в частности, выполняется обслуживание функциональной клавиатуры. Выбор текущей программы производится либо модулем автоопределения текущего состояния (при первом запуске или смене режима работы системы), либо соответствующими командами предыдущей программы, либо действиями оператора.

Отметим основные особенности, характерные для примененного подхода к проектированию алгоритмов управления САУ.

В системе, по сути дела, отсутствует жестко predetermined последова-

тельность действий: необходимая программа управления выбирается адаптивно в процессе работы с учетом текущего состояния объекта управления, при этом потенциально имеются возможности в рамках такого подхода добиться «разумного» поведения системы при большинстве нештатных ситуаций и добиться ее максимальной «живучести» при наличии отказов.

Все алгоритмы управления сосредоточены в одном модуле, имеющем регулярную, четко спланированную структуру, причем внесение практически любых изменений в алгоритмы управления не нарушает эту структуру, поэтому может быть выполнено быстро и эффективно, с сохранением необходимого уровня надежности.

Регулярная структура алгоритмов управления позволяет при последующем развитии системы реализовать их в виде специализированного интерпретатора, входная информация для которого (т. е. собственно программа управления) будет готовиться с помощью специально написанных для этого средств САПР. Такой подход позволит обслуживающему персоналу не только изменять уставки по оборотам, временные задержки и другие параметры алгоритмов (что можно делать уже в существующей версии), но и вносить изменения в сами алгоритмы, максимально приспособив поведение системы к собственным нуждам.

Наличие адаптивного выбора необходимой программы управления делает возможным многократное переключение в процессе работы между автоматическим и ручным режимами управления, а также корректное подключение системы к уже работающему двигателю, что особенно важно в условиях стендовых испытаний.

Управляющая программа прибора САУ реализована в системе программирования Microsoft Visual Basic 3.0, кроме драйвера связи с аппаратурой, оформленного в виде отдельной динамической библиотеки и написанного на языке С++ (и частично на ассемблере) с использованием компилятора Borland С++ 4.02. В качестве операционной системы используется MS-DOS версии 6.22 в сочетании с графической оболочкой Microsoft Windows 3.1 (по сравнению с современными 32-разрядными реализациями Windows эта версия менее требовательна к аппаратным ресурсам). Выбор инструментальных средств, несколько нетрадиционных для систем промышленной автоматизации, был случаен и за время эксплуатации и сопровождения системы полностью себя оп-

равдал. Традиционно считается, что система Windows практически не пригодна для работы в реальном времени и недостаточно надежна для подобных применений, однако на практике большинство трудностей преодолимо, если речь идет о времени реакции на события порядка сотен мс (что для рассматриваемой системы САУ является вполне допустимым). Решающим аргументом в пользу Windows было наличие великолепных инструментальных средств для разработки программ, что позволяет легко и быстро создать удобный пользовательский интерфейс, в минимальные сроки внести в программу необходимые изменения и обеспечить при этом требуемый уровень надежности и качества конечного продукта. Что касается имеющихся на рынке специализированных средств для создания человеко-машинного интерфейса (ММИ), то, к сожалению, все опробованные продукты (как для DOS, так и для Windows) были отвергнуты по тем или иным причинам. Система Genie фирмы Advantech оказалась неудобна для использования в задачах, требующих сложной алгоритмической обработки данных (блок-схемы для этого громоздки и неудобны, а встроенный язык недостаточно гибок). Отечественная система Trace Mode имеет ряд весьма специфических особенностей, затрудняющих ее использование (сложность реализации вычислительных алгоритмов, весьма примитивные по современным меркам средства редактирования, неудобство последующего сопровождения уже готового проекта), кроме того, создать привлекательный пользовательский интерфейс с помощью Trace Mode достаточно трудно. Более мощные системы, ориентированные на комплексную автоматизацию технологических процессов (например Genesis for Windows фирмы Iconics), для этой задачи излишне дороги и громоздки, кроме того, большинство их возможностей при этом окажутся невозможными, а для реализации специализированных алгоритмов все равно придется пользоваться обычными языками программирования. В конце концов, в качестве инструментального средства был выбран Microsoft Visual Basic. По возможностям визуального проектирования и скорости создания приложений этот продукт практически ни в чем не уступает специализированным ММИ и SCADA-системам, в то же время, являясь универсальным языком программирования, он лишен характерных для этих систем проблем, возникающих при малейшей попытке отклониться от их основной области при-

менения. Что касается самого языка программирования, то, разумеется, он менее удобен для подобных задач, чем, скажем, С или С++, но на практике в нем имеются все необходимые для написания наглядных и надежных программ языковые конструкции, единственное, что требуется — четкий стиль и определенная дисциплина программирования (что, впрочем, полезно при работе на любом языке).

Практический опыт интенсивной эксплуатации и сопровождения САУ в течение года подтвердил правильность принятых технических решений. Промышленный компьютер MiPC50 фирмы Advantech за год интенсивной эксплуатации в системе САУ судового дизель-генератора не имел отказов или сбоев в работе. Это разительно отличалось от опыта работы с другими новейшими микропроцессорными САУ, изготовленными на элементном уровне.

В настоящее время на основе комплекса АДГ-1000 ведется разработка системы резервного энергоснабжения здания областного правительства, при этом адаптация программного обеспечения потребовала минимальных усилий. Дальнейшие планы по развитию системы связаны с наращиванием функциональных возможностей, совершенствованием алгоритмов управления и резервирования, освоением новых областей применения (например автоматизированное управление турбогенераторами). В перспективе, если это окажется экономически целесообразным, возможен сравнительно безболезненный переход к универсальной САУ, алгоритмы управления для которой будут создаваться и редактироваться специализированными средствами САПР, что позволит конечным пользователям максимально «подогнать» систему под собственные нужды. В отличие от существующих систем ММИ, SCADA и других средств аналогичного назначения (например специализированных релейных языков для программирования контроллеров), предлагаемая САПР может быть максимально приспособлена к предметной области, а значит проста, удобна и надежна в использовании как для разработчиков системы, так и для конечных пользователей. ●