

Компьютеризированный комплекс для испытаний лодочных моторов 77-30569/275638

12, декабрь 2011

Беляков В. И., Граф В. А.

УДК.629.526

МГТУ им. Н. Э. Баумана

belyakov12@gmail.com

info@rk9.bmstu.ru

На экспериментальной базе ФГУП «ММПП» Салют» создан компьютеризированный комплекс для испытаний подвесных лодочных моторов мощностью до 5-и л.с. Комплекс предназначен для автоматизации приемо-сдаточных и периодических испытаний, а также для проведения в автоматизированном режиме ряда специальных испытаний лодочных моторов.

На рис. 1 представлена функциональная схема автоматизированного испытательного комплекса (АИК) модели АИК-1, который имеет два уровня: верхний уровень 1 и нижний уровень 2.

Верхний уровень 1 включает в себя автоматизированное рабочее место (АРМ) 3 оператора – испытателя верхнего уровня, программируемый логический контроллер (ПЛК) 4 и универсальную панель 5 оператора (*UniOP*) испытателя нижнего уровня.

В состав нижнего уровня 2 входят: гидромеханическая, информационно – измерительная и электромашинная подсистемы. Нижний уровень также включает в себя: привод 6 рукоятки газа лодочного мотора (ЛМ), устройство 7 планового и аварийного выключения двигателя внутреннего сгорания (ДВС) лодочного мотора, участок 8 подготовки лодочных моторов, ступень 9 для установки моторов. Кроме того в нижний уровень входят, не показанные на рис. 1, подсистемы: электрошкаф испытательного комплекса, вытяжная вентиляция, средства пожаротушения, электро – и гидро – коммуникации.

Гидромеханическая подсистема испытательного комплекса содержит испытательную емкость (ванну) 10 и стойку 11, снабженную силоизмерительной транцевой доской (не показана), на которую устанавливается испытываемый лодочный мотор 12.

Информационно – измерительная подсистема испытательного комплекса содержит измерители 13 ... 21 физических величин лодочного мотора и окружающей среды (соответствие номеров измерителей на рис. 1 измеряемым физическим величинам представлено ниже по тексту и в табл. 1), измерительный блок 22 (вторичные преобразователи и четыре табло цифровой индикации) и дополнительный топливный бак 23, предназначенный для измерения массы расходуемого топлива.

Электромашинная подсистема (её основа – скоростной следящий привод переменного тока) испытательного комплекса включает в себя: асинхронный электродвигатель 24, оснащенный датчиками угла и скорости (не показаны), усилитель 25 мощности, блок 26 балластных резисторов и пульт 27 местного управления.

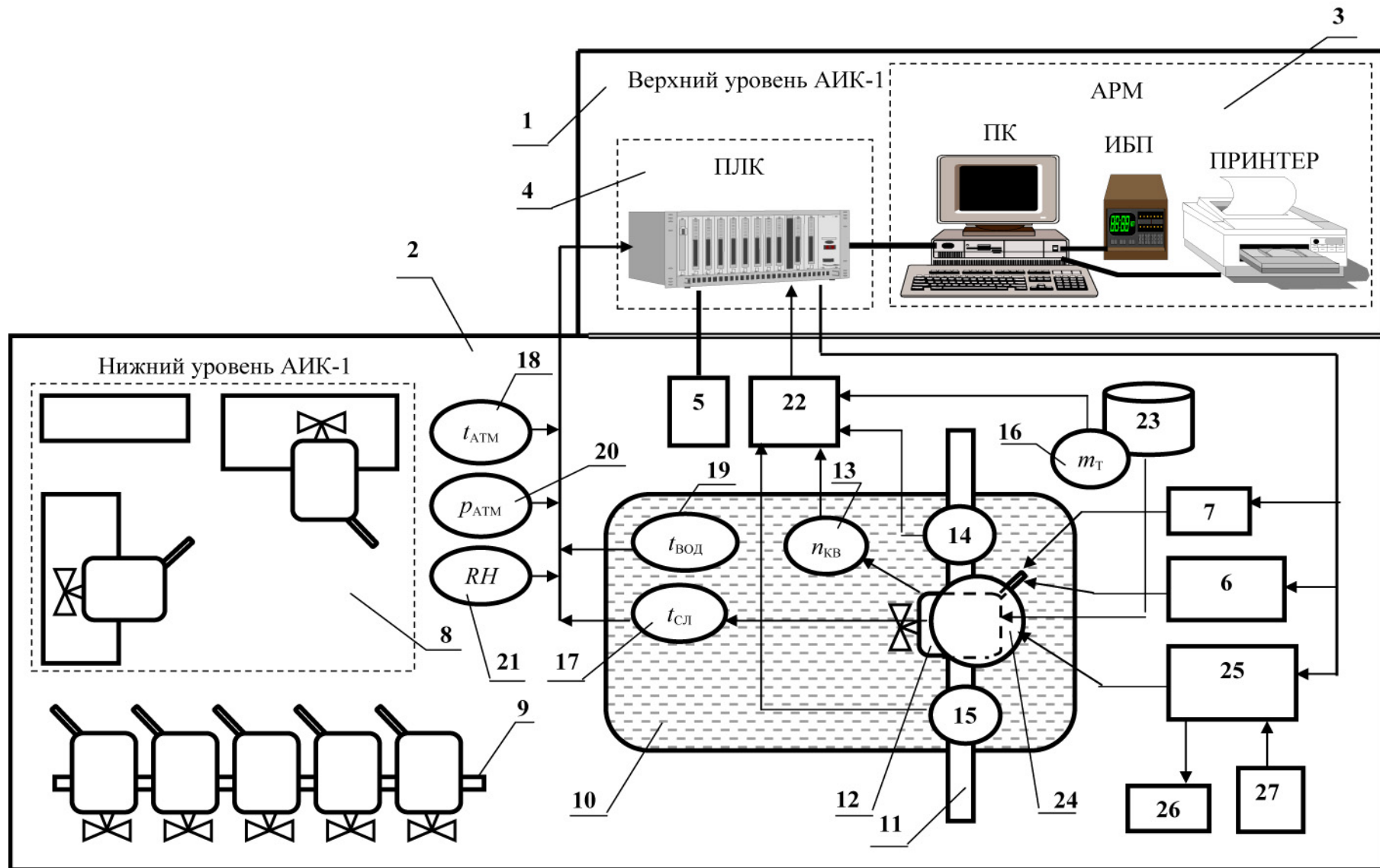


Рис. 1. Функциональная схема автоматизированного испытательного комплекса АИК-1

Автоматизированное рабочее место (АРМ) 3 оператора – испытателя верхнего уровня выполняет следующие основные функции:

- дискретное управление испытательным процессом;
- мониторинг процесса испытаний;
- архивация и протоколирование событий испытаний.

Автоматизированное рабочее место АРМ 3 комплекса АИК-1 состоит из персонального компьютера ПК, принтера и источника ИБП бесперебойного питания.

Прикладное программное обеспечение персонального компьютера ПК выполнено на основе SCADA – пакета *FIX 32* фирмы «*Intellution*» (США).

Основные функции программируемого логического контроллера (ПЛК) 4:

- оперативное управление испытательным процессом;
- сбор информации, поступающей от информационно – измерительной подсистемы нижнего уровня;
- фильтрация, линейаризация и масштабирование входных аналоговых сигналов;
- формирование управляющих воздействий, подаваемых на исполнительные органы нижнего уровня (электромашина подсистема, привод 6 рукоятки газа, устройство 7 выключения двигателя внутреннего сгорания лодочного мотора);
- обмен информацией с панелью 5 *UniOP* оператором – испытателем нижнего уровня.

Контроллер ПЛК 4 представляет собой промышленный РС – совместимый контроллер, выполненный на базе модулей серии ЭК-2000 фирмы «ЭМИКОН» (г. Москва). Конфигурация контроллера набирается из отдельных модулей, необходимых для решения поставленной задачи. В состав контроллера ПЛК 4 входят следующие модули:

- плата кроссовая *CR-04*;
- модуль центральный *CPU-03A*;
- преобразователь интерфейса *CIM-232NI* (2 шт.);
- модуль ввода-вывода дискретных сигналов *DIO-04A*;
- модуль конверторов *OR-04A*;
- модуль конверторов *IR-04A*;
- модуль вывода аналоговых сигналов *AO-01A*;
- модуль ввода аналоговых сигналов *AI-04A*;
- модуль расширения ввода аналоговых сигналов *EAI-03A*;
- блок питания нестабилизированный *SU-06*;
- модуль питания *PU-01A*.

Программное обеспечение (ПО) ПЛК 4 разработано с использованием интегрированной среды разработки ПО «*Win – Designer*» (фирма «ЭМИКОН»). Связь контроллера с компьютером и панелью 5 оператора осуществляется по интерфейсам *RS-232* с использованием протокола «*Modbus*».

Основные функции универсальной панели (*UniOP*) 5 оператора – испытателя нижнего уровня:

- получение оператором – испытателем нижнего уровня 2 от вычислительных средств верхнего уровня 1 комплекса (от ПЛК и ПК) информации о текущем состоянии испытательного процесса, о действиях, требуемых от оператора на данном этапе испытаний, и о возникающих нештатных и аварийных ситуациях (информация поступает на жидкокристаллический дисплей и подсвечиваемые клавиши панели *UniOP*);
- подтверждение оператором выполнения требуемых действий с помощью клавиатуры панели.

Из множества различных моделей панели *UniOP* использована панель *CP11G-04* фирмы «*Sitek*» S.p.A. (Италия).

Программное обеспечение панели 5 оператора разработано на основе интегрированной среды разработки ПО «*UniOP – Designer*» (фирма «*Sitek*» S.p.A.).

Привод 6 рукоятки газа ЛМ предназначен для автоматического управления подачей топлива в карбюратор и, соответственно, частотой вращения коленвала двигателя внутреннего сгорания. Привод 6 включает в себя блок управления БУ12-8-1-01, шаговый электродвигатель ДШ65-006-3 (ЗАО «Машиноаппарат», г. Москва) и специальный редуктор. Электродвигатель и редуктор установлены на румпеле лодочного мотора.

На участок 8 подготовки ЛМ поступают моторы, прошедшие предварительную регулировку и обкатку. Перед испытаниями моторы оснащаются дополнительными узлами и устройствами в соответствии с технологией автоматизированных испытаний. После испытаний моторы приводятся к штатной комплектации.

Стойка 11 гидромеханической подсистемы нижнего уровня 2 имеет силоизмерительную транцевую доску (на рис. 1 не показана), на которую устанавливается испытываемый лодочный мотор 12. Узел силоизмерительной транцевой доски включает в себя динамометрические устройства 14 и 15, обеспечивающие измерение крутящего момента $M_{\text{КВ}}$ на коленчатом вале ДВС и тягового усилия R гребного винта лодочного мотора.

Информационно – измерительная подсистема испытательного комплекса АИК-1 обеспечивает получение информации о физических величинах лодочного мотора и окружающей среды, перечень которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

Перечень измеряемых физических величин лодочного мотора и окружающей среды

№ п/п	№ позиции на рис.1	Наименование измеряемой физической величины	Обозначение	Единица	Диапазон измерения	Погрешность*)
1	2	3	4	5	6	7
1	13	Частота вращения коленчатого вала ДВС	$n_{\text{КВ}}$	об/мин	100 ... 9000	$\pm 0,5\%$
2	14 и 15	Крутящий момент на коленчатом вале ДВС	$M_{\text{КВ}}$	Н·м	1,5 ... 20,0	$\pm 0,5\%$
3	14 и 15	Тяговое усилие гребного винта	R	Н	50 ... 500	$\pm 0,5\%$
4	16	Масса расходуемого топлива	$m_{\text{Т}}$	г	0 ... 1000	$\pm 1\%$
5	17	Температура воды на сливе системы охлаждения ДВС	$t_{\text{СЛ}}$	°С	+20 ... +100	$\pm 1\%$
6	18	Температура атмосферного воздуха в испытательном помещении	$t_{\text{АТМ}}$	°С	+10 ... +50	$\pm 1\%$
7	19	Температура воды в испытательной емкости	$t_{\text{ВОД}}$	°С	+10 ... +50	$\pm 1\%$
8	20	Давление атмосферного воздуха в испытательном помещении	$p_{\text{АТМ}}$	кПа	84 ... 107	$\pm 5\%$
9	21	Относительная влажность атмосферного воздуха в испытательном помещении	RH	%	30 ... 100	$\pm 5\%$

*) – основная приведенная погрешность первичных преобразователей.

В состав информационно – измерительной подсистемы входят две группы измерителей физических величин.

К первой группе измерителей относятся:

- тахогенератор 13 модели ТГП-3 (ОАО «Московский завод электромеханизмов»), измеряющий частоту $n_{\text{кв}}$ вращения коленчатого вала ДВС ЛМ;
- динамометры 14 и 15, обеспечивающие измерение крутящего момента $M_{\text{кв}}$ на коленчатом вале и тягового усилия R гребного винта (первичные преобразователи динамометров это тензопреобразователи модели С05);
- измеритель массы $m_{\text{т}}$ расходуемого топлива, основными компонентами которого являются динамометрические весы 16 с первичным тензопреобразователем С05 и дополнительный топливный бак 23.

Выходные сигналы измерителей первой группы поступают в измерительный блок 22, в состав которого входят вторичные преобразователи и четыре табло цифровой индикации текущих значений частоты $n_{\text{кв}}$ вращения коленвала, крутящего момента $M_{\text{кв}}$ на коленвале, тягового усилия R гребного винта и массы $m_{\text{т}}$ топлива в баке 23. Измерительный блок 22 масштабирует входные аналоговые сигналы и подает их в контроллер ПЛК 4.

Ко второй группе измерителей относятся только первичные преобразователи, выходные сигналы которых поступают непосредственно в контроллер ПЛК 4:

- термопреобразователь 17 (модель ТСП 012.02 с защитной гильзой, СКБ «Термоприбор», г. Москва) для измерения температуры $t_{\text{сл}}$ воды на сливе системы охлаждения ДВС ЛМ 12;
- термопреобразователь 18 (модель ТСП 012-03.02, без защитной гильзы) для измерения температуры $t_{\text{атм}}$ атмосферного воздуха в испытательном помещении 2;
- термопреобразователь 19 (модель ТСП-012.02-03.02 с защитной гильзой) для измерения температуры $t_{\text{вод}}$ воды в испытательной емкости 10;
- первичный преобразователь 20 (модель 24PCCFA, фирма «Honeywell» Inc.) для измерения давления $p_{\text{атм}}$ атмосферного воздуха в испытательном помещении 2;
- первичный преобразователь 21 (модель HIN-3602-L, фирма «Honeywell» Inc.) для измерения относительной влажности RH атмосферного воздуха в испытательном помещении 2.

Электромашинная подсистема испытательного комплекса АИК-1 предназначена для вращения коленчатого вала ДВС ЛМ при решении следующих задач:

- автоматический запуск ДВС и определение скорости (частоты вращения) запуска – т. е. минимальной частоты вращения коленвала, необходимой для запуска ДВС;
- автоматическое определение внешней скоростной характеристики ДВС.

Электромашинная подсистема выполнена в виде скоростного следящего привода (ССП) переменного тока, который включает в себя следующие компоненты:

- 3-х фазный асинхронный электродвигатель (АД) 24 модели 4АМ52П132 М4П5УХЛ4 (мощность 11 кВт, максимальная частота вращения 4000 об/мин), дополнительно оснащенный датчиками угла и скорости; АД установлен на стойке 11, вал АД ориентирован вертикально;
- механическая передача (редуктор, маховик, кардан), с помощью которой вал АД соединяют с коленвалом испытываемого ЛМ 12;
- усилитель 25 мощности, состоящий из преобразователя частоты модели Р-15 (НПО «Сапфир» г. Москва) и блока управления, специально разработанного ЦНИИАГ для задач, решаемых ССП в составе АИК-1;
- блок 26 балластных резисторов, предназначенный для утилизации в теплоту электроэнергии, генерируемой ССП при уменьшении им крутящего момента нагрузки на коленвале ДВС ЛМ в процессе определения внешней скоростной характеристики ДВС (предусмотрена также возможность рекуперации генерируемой электроэнергии в сеть, однако имеется опасение внесения помех недопустимого уровня, если электро-сеть имеет очень низкое качество);

- пульт 27 местного управления, используемый при настройке некоторых характеристик ССП для различных моделей и модификаций лодочных моторов.

Блок-схема автоматизированного испытательного комплекса АИК-1 представлена на рис. 2, на котором сохранена нумерация позиций рис. 1. Схема раскрывает основные взаимосвязи отдельных модулей контроллера ПЛК 4 между собой и с другими компонентами испытательного комплекса.

На участке 8 лодочный мотор ЛМ 12 проходит предиспытательную подготовку – оснащается дополнительными узлами и устройствами в соответствии с технологией автоматизированных испытаний (мотор оснащается топливной арматурой для присоединения дополнительного топливного бака 23, на румпель ЛМ устанавливаются шаговый электродвигатель и редуктор привода 6 рукоятки газа и т. д.). Затем ЛМ устанавливается на транцевую доску гидромеханической подсистемы испытательного комплекса и к нему присоединяются элементы, необходимые для проведения данной категории испытаний (к коленвалу ДВС присоединяется кардан привода ССП, подсоединяется топливный бак 23 и т. д.). После включения подачи топлива все испытания выполняются в автоматизированном режиме (с участием оператора – испытателя нижнего уровня).

В ТУ на лодочные моторы предписано выполнение приемо-сдаточных и периодических испытаний.

Приемо-сдаточным испытаниям подвергается каждый выпускаемый лодочный мотор после технологического прогона и регулировки.

При приемо-сдаточных испытаниях контролируются и протоколируются следующие параметры лодочного мотора:

- наименьшая устойчивая частота $n_{\text{КВ.НУ}}$ вращения коленвала ДВС;
- максимальная частота $n_{\text{КВ.МАХ}}$ вращения коленвала ДВС;
- зависимость $t_{\text{СЛ}} = f(n_{\text{КВ}})$ температуры воды на сливе системы охлаждения ДВС от частоты вращения коленвала.

Также измеряются и протоколируются следующие параметры окружающей среды:

- температура $t_{\text{ВОД}}$ воды в испытательной емкости;
- температура $t_{\text{АТМ}}$ атмосферного воздуха в испытательном помещении;
- давление $p_{\text{АТМ}}$ атмосферного воздуха в испытательном помещении;
- относительная влажность RH атмосферного воздуха в испытательном помещении.

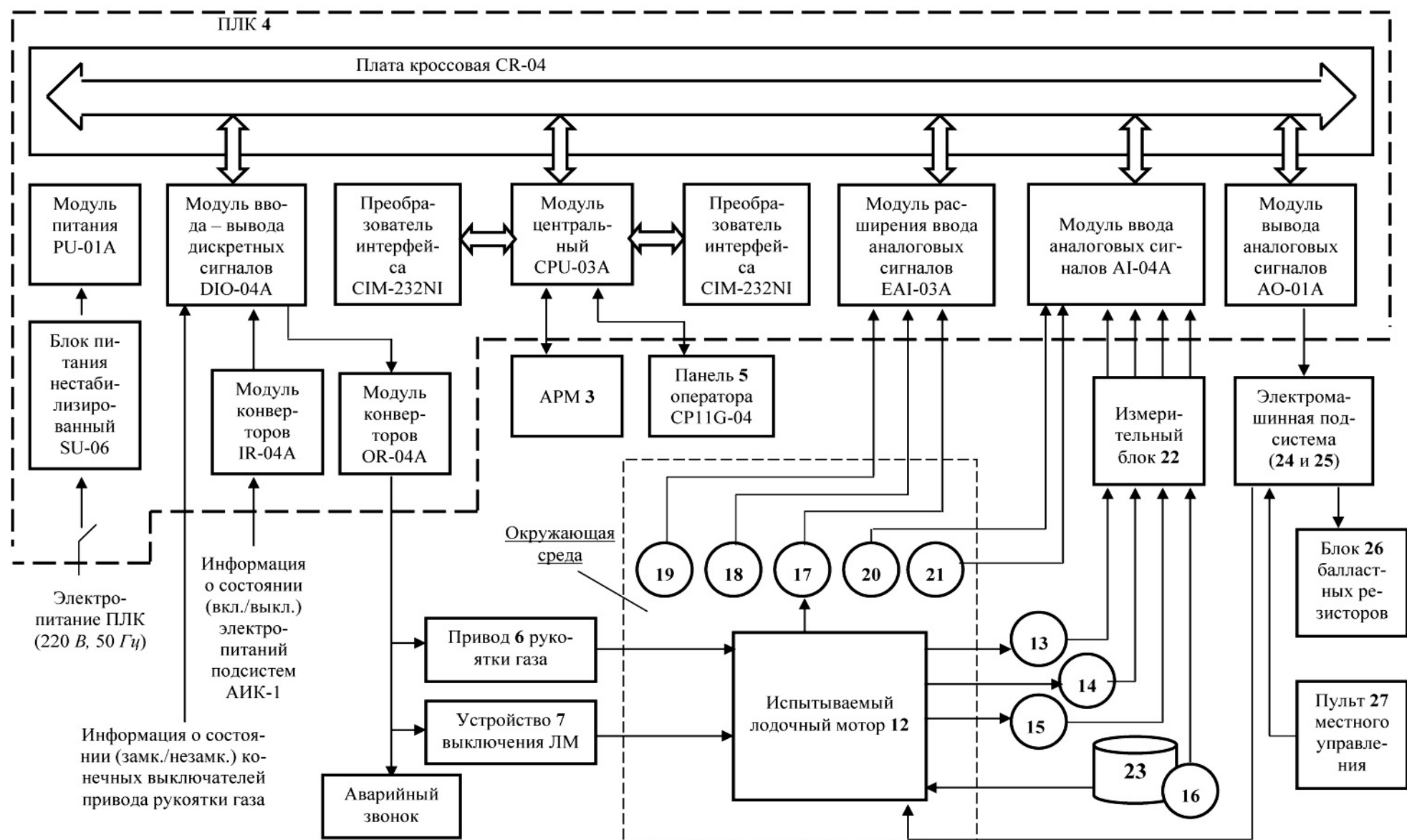


Рис. 2. Блок-схема автоматизированного испытательного комплекса АИК-1

Для проведения периодических испытаний отбираются моторы из числа прошедших приемо-сдаточные испытания. Периодичность и объем испытаний установлены в ТУ.

При периодических испытаниях контролируются (измеряются и, при необходимости, рассчитываются) и протоколируются следующие параметры лодочного мотора:

- внешняя скоростная характеристика ДВС лодочного мотора, которая в соответствии с ГОСТ 14846-81 включает в себя функциональные зависимости от частоты вращения коленвала следующих величин:

$M_{KB} = f(n_{KB})$ – крутящего момента нагрузки на коленвале ДВС,

$N = f(n_{KB})$ – мощности ДВС,

$G_T = f(n_{KB})$ – массового часового расхода топлива,

$g = f(n_{KB})$ – удельного расхода топлива;

- температура $t_{сл}$ воды на сливе системы охлаждения ДВС на некоторых стадиях испытаний;
- параметры окружающей среды (аналогично приемо-сдаточным испытаниям);
- максимальные значения $M_{KB,MAX}$, N_{MAX} , R_{MAX} крутящего момента, мощности и тягового усилия;
- эффективные значения частоты вращения коленвала ДВС (значения частоты вращения при максимальной мощности и максимальном тяговом усилии);
- массовый часовой расход G_T топлива при максимальной мощности ДВС.

Помимо приемо-сдаточных и периодических испытаний автоматизированный комплекс АИК-1 позволяет выполнять различные специальные испытания. Для этого необходимо иметь (или дополнительно разработать) соответствующее прикладное программное обеспечение верхнего уровня испытательного комплекса.

К специальным испытаниям относятся, в частности, следующие:

- аттестация нестандартных средств, каналов и систем измерения, используемых в испытательном комплексе;
- обучение операторов – испытателей верхнего и нижнего уровней испытательных комплексов с имитацией различных, в том числе нештатных и аварийных, испытательных ситуаций;
- исследовательские испытания, например, сравнительные испытания различных моделей и модификаций лодочных моторов, сравнительные испытания различных типов гребных винтов и т. д.;
- демонстрационные (рекламные) испытания.

Представленный автоматизированный испытательный комплекс АИК-1 является основой для создания иных моделей и модификаций комплексов стендовых испытаний с высоким уровнем автоматизации. В перспективе мы видим возможность создания следующих моделей испытательных комплексов.

1. Автоматизированный испытательный комплекс, нижний уровень которого имеет несколько (4 ... 6) испытательных емкостей. Процессы управления испытаниями на каждой емкости независимы друг от друга. Такой испытательный комплекс, в настоящее время, обеспечит потребности испытательного участка цеха, производящего лодочные моторы.

Комплекс будет иметь следующие особенности по отношению к комплексу АИК-1:

- гидромеханическая и электромашинная подсистемы, привод рукоятки газа ЛМ, измерители параметров лодочного мотора, панель *UniOP* оператора-испытателя нижнего уровня имеются у каждой испытательной емкости;
- участок подготовки ЛМ, измерители параметров окружающей среды – общие для всего нижнего уровня испытательного комплекса;
- состав верхнего уровня испытательного комплекса сохраняется (ПЛК и АРМ);
- конфигурация контроллера иная (требуется дополнительные модули);
- новое программное обеспечение верхнего уровня испытательного комплекса.

2. Автоматизированные комплексы для испытаний лодочных моторов мощностью более 5-и л. с. Такие комплексы отличаются от рассмотренных выше только мощностью электромашиной подсистемы, некоторыми конструктивными особенностями элементов нижнего уровня и программным обеспечением верхнего уровня испытательного комплекса.

Достоинства автоматизированных испытательных комплексов (по сравнению с неавтоматизированными) очевидны:

- соответствие современному уровню автоматизации технологических процессов;
- высокая точность и объективность результатов испытаний;
- минимизация времени и сокращение стоимости проведения испытаний;
- возможность проведения комплексных испытаний (одновременно по многим контролируемым параметрам) в течение малого периода времени;
- высокая гибкость и переналаживаемость автоматизированного комплекса при изменении видов и объектов испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Универсальные программируемые промышленные контроллеры серии "ЭК-2000": Инструкция по эксплуатации. – М. Эмикон, 1994. – 30 с.
2. Интегрированная система разработки прикладного программного обеспечения *CONT – Designer*: Руководство пользователя / Сост. А. В. Алексеев. – М.: Эмикон, 1990. – 109 с.
3. Интегрированная система разработки прикладного программного обеспечения *CONT – Designer for Windows*: Руководство программиста / Сост. А. В. Алексеев. – М.: Эмикон, 2006. – 70 с.

Компьютеризированный комплекс для испытаний лодочных моторов

77-30569/275638

12, December 2011

Belyakov V.I., Graf V.A.

Bauman Moscow State Technical University

belyakov12@gmail.com

info@rk9.bmstu.ru

The authors studied a complex for acceptance, periodic and a number of special tests of boat motors which have a power of up to 5hp on the basis of using a personal computer and industrial logical controller on FGUP "MMPP" "Salut". The test complex consists of hydromechanical, information-measuring and dynamoelectric subsystems, drive of the gas handle, section of boat motors preparation. Hydromechanical subsystem contains a test counter with a force measuring transom board. The information-measuring subsystem contains gauges of boat motor physical quantities and of environment (9 gauges: frequency of rotation of the crankshaft of internal combustion engine; thrust of screw propeller; temperature of the water in discharge; and others). The basis of the dynamoelectric subsystem is a high-speed servomechanism of alternating current. Advantages of the test complex are the following: high accuracy and objectivity; minimization of time and reduction of the cost of tests; possibility of conducting complex tests during a short period of time.

Publications with keywords: [test](#), [outboard motors](#), [computerized complex](#)

Publications with words: [test](#), [outboard motors](#), [computerized complex](#)

Reference

1. Universal programmable industrial controllers of series "PS-2000", Moscow, Emikon, 1994, 30 p.
2. A. V. Alekseev, The integrated system of the development of application software CONT - Designer: user's Guide, Moscow, Emikon, 1990, 109 p.
3. A. V. Alekseev, The integrated system of the development of application software CONT - DesignerforWindows: the programmer's Guide, Moscow, Emikon, 2006, 70 p.