

УДК 623.74

*К. Е. Рогачевский, С. Н. Романёнок, С. Н. Семенович, Д. А. Ткачёв, К. Н. Шишло*

## ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

UDC 623.74

*K. E. Rogachevsky, S. N. Romanyonok, S. N. Semenovich, D. A. Tkachov, K. N. Shishlo*

## ENGINEERING SHAPE OF MODERN MULTIPURPOSE INFORMATION AND DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR AVIATION ENGINES

### Аннотация

Представлен технический облик современного универсального информационно-диагностического средства авиационных двигателей. Определено назначение и сформированы задачи информационно-диагностического средства, программно-технические способы их реализации, структура и требования по взаимодействию с внешней информационной средой. Приведены основные результаты экспериментальной работы с макетом информационно-диагностического средства авиационных двигателей по подтверждению реализуемости заложенных решений.

### Ключевые слова:

информационно-диагностическое средство, интегрированная логистическая поддержка, информационное обеспечение, техническое обслуживание и ремонт, авиационные двигатели.

### Abstract

The engineering shape of modern multipurpose data-diagnostic systems for aviation engines is presented. The purpose of the data-diagnostic system is defined, its tasks, including program-technical methods to realize them, are formulated and the structure and requirements for the interaction with external information environment are given. The paper presents the basic results of the experimental work with the model of the data-diagnostic system for aircraft engines to confirm the realizability of solutions.

### Key words:

data-diagnostic facilities, integrated logistic support, data support, maintenance and repair, aviation engines.

К парку авиационной техники предъявляются повышенные требования по обеспечению надежности и безопасности полетов и, как следствие, требования к средствам контроля и диагностики авиационной техники. Большинство имеющихся средств технического обслуживания и ремонта морально и физически устарели, поэтому в ВВС и войсках ПВО одной из приоритетных задач является оснащение авиационных частей современным диагностическим

оборудованием. Наиболее остро проблема замены устаревших диагностических средств и внедрение новых стоит для авиационных двигателей (АД) как наиболее критичных и дорогостоящих элементов воздушных судов.

Разработка технического облика современного универсального диагностического средства АД позволит начать его проектирование и повысить требования к приобретаемым диагностическим средствам авиационной

техники.

Современный уровень, темпы и направления развития средств вычислительной техники и информационных технологий определяют основные тенденции развития диагностических средств [2, 3]:

- информационное обеспечение процесса диагностики, тесно связанное с принципами интегрированной логистической поддержки (ИЛП) жизненного цикла изделия (ЖЦИ);

- применение новых методов диагностики, опирающихся на новые физические принципы или на новые методы получения и обработки диагностической информации, в основном обусловленные новыми возможностями вычислительной техники;

- автоматизация технологических процессов и оптимизация их планирования;

- интегрирование средств измерения диагностических параметров, обработки диагностической информации и информационного обеспечения процесса диагностики в единые информационно-диагностические средства (ИДС).

Программно-аппаратные комплексы, объединенные в ИДС, становятся обязательным элементом средств наземного обслуживания как всех вновь разрабатываемых образцов авиационной техники, так и эксплуатирующихся продолжительное время типов воздушных судов (ВС) и АД.

В РФ в 2003 г. принята программа «Концепция развития системы средств контроля технического состояния воздушных судов в ВВС РФ», в которой перспективным направлением совершенствования системы технического обслуживания самолетов и вертолетов военной авиации определены разработка и внедрение ИДС, состоящего из унифицированных информационно-диагностических средств [1].

Элементы этой концепции в настоящее время реализованы в ИДС АРМ ДК-30(СД) серии М применитель-

но к силовой установке (СУ) самолетов Су-27 и Су-30 и АКПА-29СД для контроля СУ МиГ-29.

На основании результатов изучения характеристик изделий-аналогов и анализа информации, циркулирующей в процессе технического обслуживания и ремонта (ТОиР) авиационной техники, определяются назначение и задачи, выполняемые ИДС, программно-технические способы их реализации, структура изделия и требования по взаимодействию с внешней информационной средой.

Назначением ИДС является реализация процессов сбора, обработки, анализа, хранения и передачи информации об объекте диагностики (ОД).

Группа задач И (в процессе сбора информации):

- регистрация параметров и построение графиков их изменения по времени эксплуатации;

- накопление информации об измеренных значениях диагностических параметров с учетом наработки;

- формирование (расчет) диагностических признаков (ДП) и их правильный выбор;

- накопление информации о временных характеристиках процесса диагностирования;

- накопление информации об отказах средств диагностики и их поверках.

Группа задач О (в процессе обработки информации):

- определение параметров детерминированных моделей изменений диагностических сигналов;

- определение параметров статистических моделей диагностических параметров;

- оценка средней продолжительности операций диагностирования;

- оценка средней стоимости диагностических процедур;

- контроль качества сбора, полноты и обработки статистических данных группой объективного контроля и инженерным отделом при непосредственном взаимодействии с информаци-

онной системой диагностики;

- обработка статистической информации и представление ее в виде таблицы, разбитой на системы или подсистемы в зависимости от глубины исследования (в виде установленных отчетов); таблицы отказов и неисправностей по каждой конкретной функциональной системе.

Группа задач М (в процессе разработки диагностических моделей):

- выбор классов состояний;
- формирование многомерного пространства признаков;
- выбор наиболее информативных критериев;
- формирование диагностических решений.

Группа задач Д (в процессе диагностирования):

- анализ тенденции изменения параметра диагностирования по наработке;
- реализации методов статистического и информационного анализа отказов и неисправностей в эксплуатации;

- автоматизированное выполнение контроля и диагностики технического состояния на основе анализа полетной информации, результатов опробования СУ, текущих проверок;

- автоматизация контроля выполнения требований эксплуатационной документации и нормативно-правовых актов;

- формирование и ведение базы данных по отказам и неисправностям, систематизация отказов по типам изделий их элементов, методам обнаружения и локализации дефектов;

- определение приведенных к стандартным атмосферным условиям параметров;

- сравнение полученных результатов со значениями параметров из формуляра двигателя;

- определение отклонений значений параметров от формулярных значений;

- сравнение полученных резуль-

татов со значениями параметров из руководства по техническому обслуживанию;

- определение отклонений значений параметров от установленных в руководствах по техническому обслуживанию;

- статистический анализ отказов и неисправностей.

Группа задач Т (в процессе управления ТОиР) и группа задач С (материально-технического обеспечения (МТО)):

- нормативный контроль эксплуатации авиационной техники;

- формирование и ведение общей базы данных эксплуатирующихся изделий, в том числе накопление информации для совершенствования серийных образцов;

- формирование на основании полученных отклонений рекомендаций по работам, которые необходимо выполнить на изделии для устранения выявленных неисправностей;

- оценка фактического расхода материалов по парку изделий;

- прогноз по расходу материалов на основании комплексной оценки технического состояния и планируемой наработки;

- планирование технической эксплуатации авиационной техники;

- планирование использования ВС;

- обеспечение нормативной базой данных по технической эксплуатации;

- алгоритмы принятия решения по эксплуатации авиационной техники;

- формирование оптимальных вариантов эксплуатации на некоторый период исходя из комплексной оценки технического состояния.

Задачи анализа видов, критичности и последствий отказов (АВКПО), анализа логистической поддержки (АЛП) и документооборота в соответствии с задачами стандартов ГОСТ 27.310, DEF STAN 00 60 (группа задач А).

Ведение интерактивной электрон-

ной эксплуатационной документации в соответствии с ГОСТ 18675-2012 и ГОСТ 2.610 (группа задач К).

Исходя из анализа задач ИДС [1, 2] обобщенная структура перспективного ИДС (облик ИДС) примет вид, представленный на рис. 1, и должна включать: аппаратную часть, программную часть, информационную часть. На каждый элемент возлагаются задачи в соответствии с перечисленными выше

группами задач.

Базовое звено современных ИДС – информационное обеспечение процессов диагностики и ТОиР, которое должно выполняться в соответствии со стандартом DEF STAN 00 60, по существу являющимся в настоящее время международным. Структура системы информационного обеспечения процесса диагностики представлена на рис. 2.

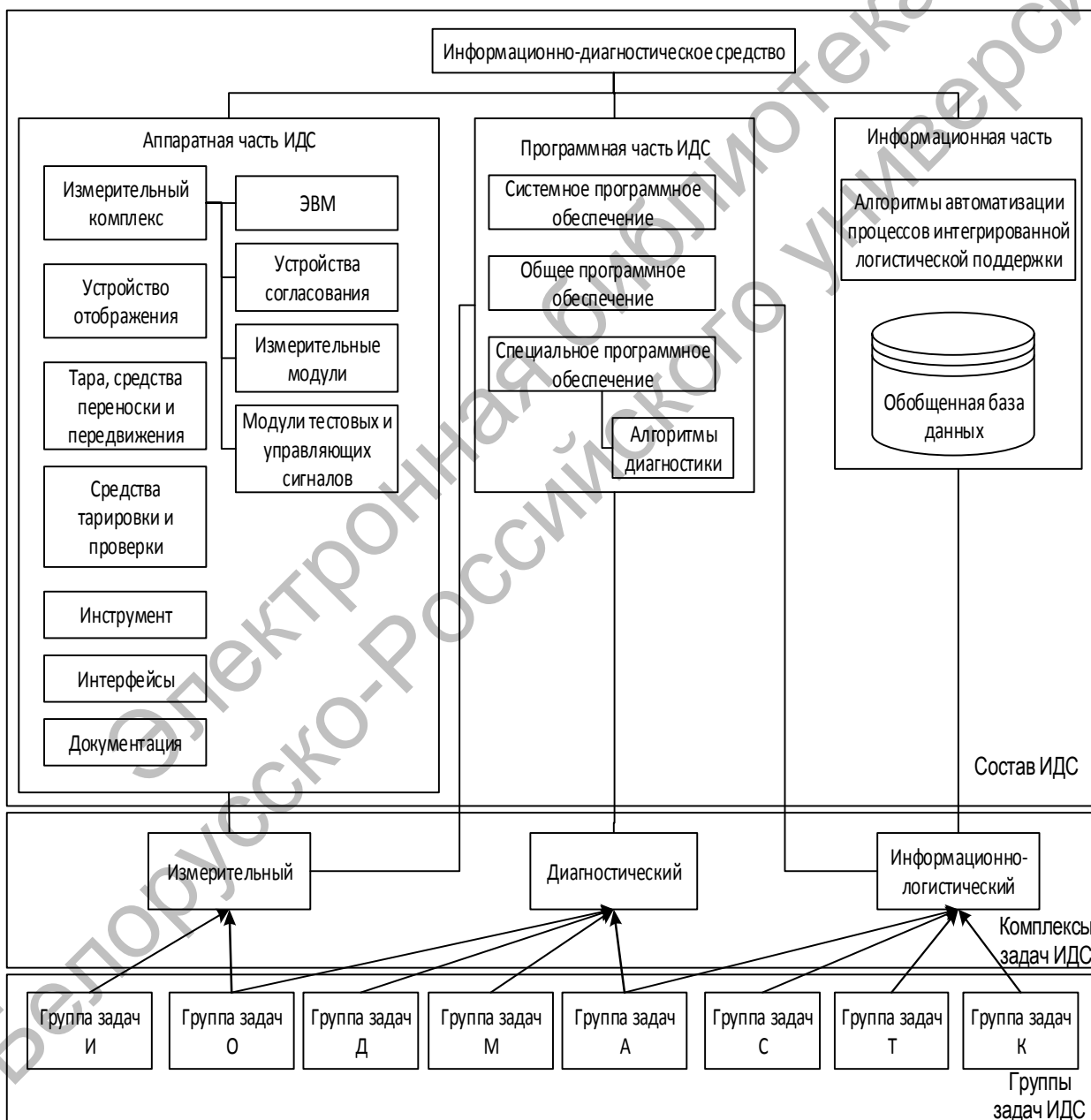


Рис. 1. Облик ИДС

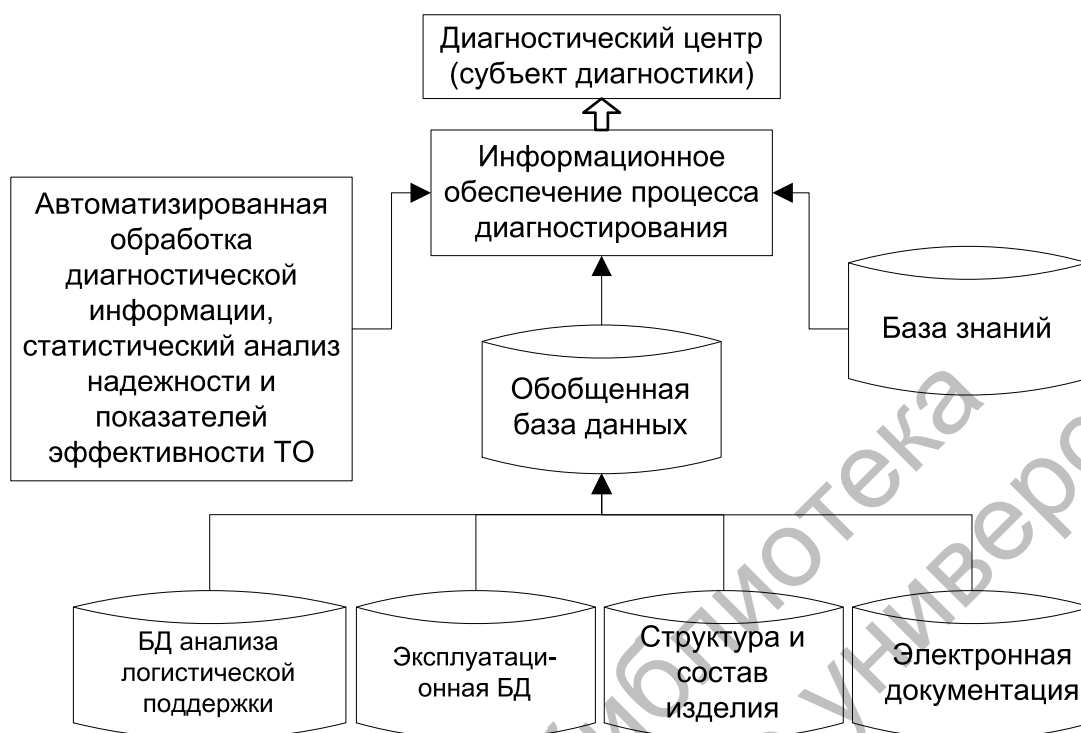


Рис. 2. Структура системы информационного обеспечения процесса диагностики

Основой информационного обеспечения являются базы данных (БД), объединяющие на информационном уровне весь объем данных, поступающий от предприятий-изготовителей и эксплуатантов конкретных типов ВС.

Состав БД индивидуален для каждого проекта в зависимости от выполняемых задач и способа реализации ИДС.

По способу своей реализации все современные средства диагностики и контроля АД можно разделить на три группы:

1) специализированные средства контроля и диагностики АД. Предназначены для диагностики одного типа или линейки двигателей. Например, упомянутые выше средства для диагностики двигателей РД-33 и АЛ-31Ф;

2) универсальные средства диагностики авиационных двигателей. Предназначены для диагностики газотурбинных двигателей и газоперекачивающих агрегатов. Чаще всего реали-

зуют только один метод диагностики и не имеют информационной поддержки, используют локальную, не интегрированную в соответствии с требованиями концепции ИЛП базу данных;

3) средства диагностики на базе универсальных информационно-измерительных комплексов (ИИК). Например, испытательные стенды на базе ИИК НПП «Мера» (г. Мытищи, РФ).

Как показывает мировая практика, полнофункциональные универсальные средства контроля и диагностики АД серийно не выпускаются и чаще разрабатываются на базе современных универсальных информационно-измерительных комплексов (ИИК) для конкретного предприятия. Особенности ИД:

- использование серийных ИИК модульной конструкции, позволяющих набирать и изменять состав ИДС в зависимости от объекта контроля, задач и диагностики;

- большое количество измери-

тельных каналов, максимальное использование штатных датчиков и применение дополнительных датчиков. Количество измерительных каналов до 2048;

- открытая архитектура специального программного обеспечения (СПО), позволяющая эксплуатанту наращивать возможности с помощью своих подключаемых модулей СПО.

В настоящее время в рамках работы на основе проведенного анализа современных средств диагностики и контроля АД [2]:

- определена структура инфор-

мационных потоков при диагностике;

- определены требования к автоматизации и информационному обеспечению процесса диагностики;

- разработан облик современного ИДС технического обслуживания АД.

В основу структуры заложена интеграция разработанных БГУ средств обработки полетной информации (СОПИ) «Двина Р», универсального ИИК Alma Meter и СПО. Структура аппаратной части ИДС на базе СОПИ «Двина Р» и универсального ИИК Alma Meter показана на рис. 3.

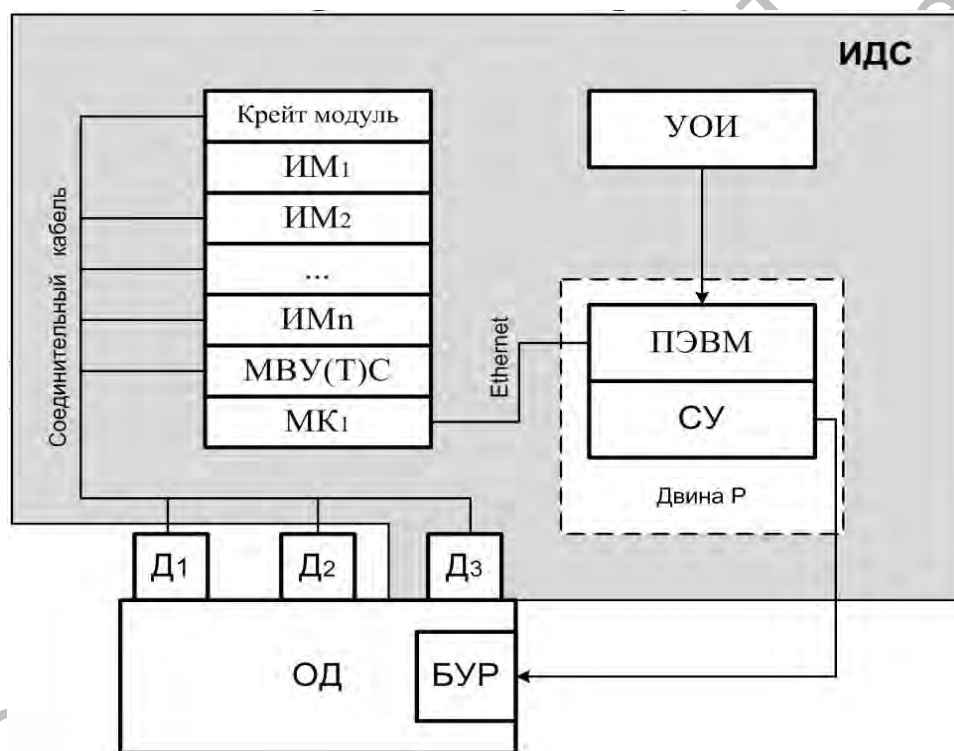


Рис. 3. Структура аппаратной части ИДС на базе СОПИ «Двина Р» и универсального измерительного комплекса Alma Meter: БУР – бортовое устройство регистрации; ИМ – измерительный модуль; МК1 – модуль коммутации; МУ(Т)С – модуль управляющих (тестовых) сигналов; СУ – согласующее устройство; ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина; УОИ – устройство отображения информации; Д1 – штатные датчики изделия; Д2 – датчики, устанавливаемые на изделие в процессе ТОиР; Д3 – дополнительные датчики ИДС

Измерительные многофункциональные комплексы Alma Meter, внешний вид которых представлен на рис. 4, предназначены для исследования и генерации электрических сигналов, преобразования сигналов от датчиков фи-

зических величин. ПЭВМ в комплексе с программным обеспечением, реализованным в системе Microsoft Windows, выполняет функции устройства управления, накопления, обработки и отображения измерительной информации.

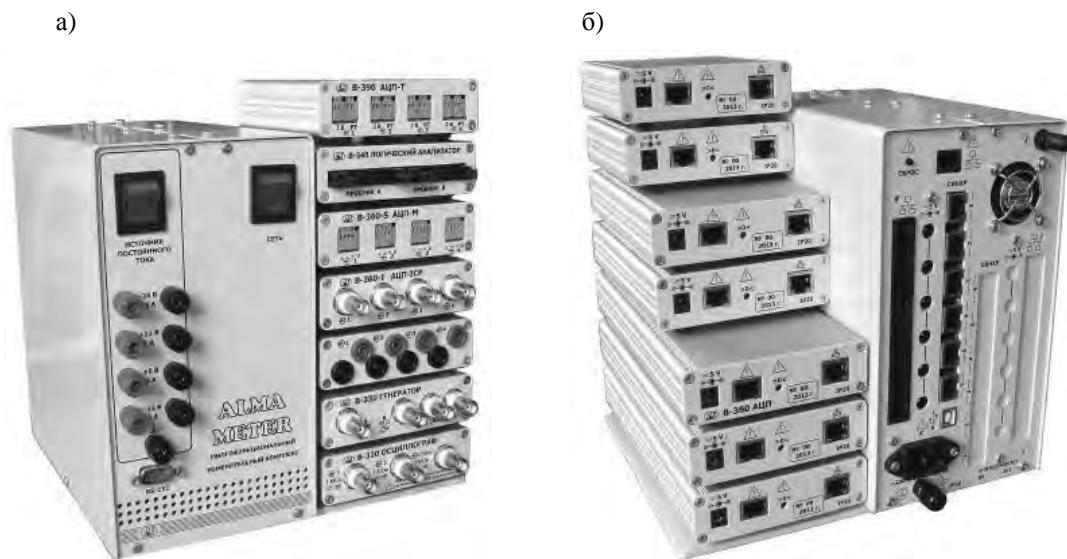


Рис. 4. Комплекс измерительный многофункциональный Alma Meter: а – вид спереди; б – вид сзади

В состав комплекса входит базовый блок, содержащий встроенный источник питания, модуль интерфейса, модуль синхронизации и тактирования, встроенный лабораторный источник постоянного тока, а также измерительные блоки. Комплексом обеспечивается совместное функционирование до шести измерительных блоков. При этом каждый из них может быть заменен любым другим либо отсутствовать. Также в составе комплекса имеется блок тактирования и синхронизации измерительных модулей, с помощью которого осуществляется передача сигналов тактирования на измерительные модули и передача сигналов синхронизации между модулями.

СОПИ «Двина Р» предназначено для выполнения функции сбора информации, управления ИДС, взаимодействия с оператором, хранения эксплуатационной базы данных.

ИДС разрабатывается по модульной схеме, что позволяет использовать универсальные модули, выпускаемые

по ТУ ВУ 100235722.219-2013 и применяемые в промышленности, сфере образования и научных исследованиях.

Взаимодействие ИДС с внешней средой осуществляется на программно-информационном и на физическом уровнях. Исходя из требований интеграции ИДС и задач информационного обеспечения диагностики определены требования к СПО и средствам коммутации ИДС.

СПО должно позволять импортировать файлы форматов \*.txt, \*.xls и \*.dat, а также подключать динамические библиотеки (.dll) и файлы формата txt. Результаты измерений должны экспортироваться в файлы форматов \*.m, \*.txt, \*.xls и \*.dat для СОПИ «Двина М». Подключение ИИК к СОПИ «Двина Р» осуществляется через высокоскоростное соединение сети Интернет. Порядок обмена ИДС с внешней средой представлен на рис. 5.

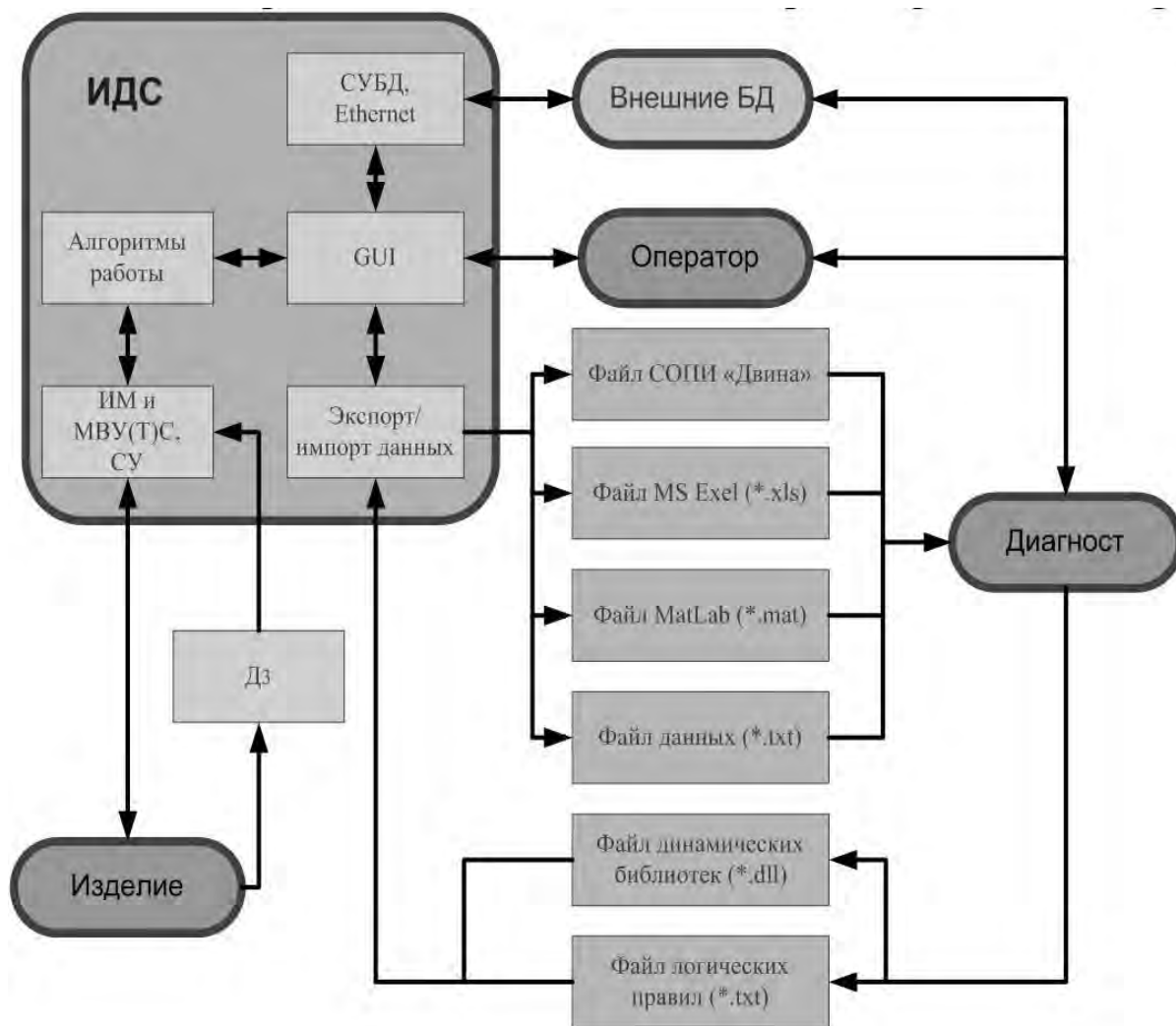


Рис. 5. Взаимодействие ИДС с внешней средой

Подключение ИДС к ВС должно выполняться через штатные разъемы, перечень которых необходимо разрабатывать на этапе технического проекта в соответствии со структурой ИДС. При применении ИДС для контроля разных типов ВС и других объектов контроля отличия могут быть обусловлены:

- различиями коммутационных жгутов, используемых для подключения к объектам контроля;
- количеством и типами универсальных модулей;
- конфигурацией (настройками) специального программного обеспечения;

– модулями специального программного обеспечения для углубленной диагностики.

ИДС должны оснащаться дополнительными вибрационными датчиками и датчиками давления с ИСР-подключением. Технические характеристики датчиков определены в ряде научно-исследовательских работ [3, 4].

Информационное обеспечение ИДС планируется выполнять с применением обобщенной БД, которая состоит из 27 таблиц, условно объединенных в 7 тематических комплексов: «Организации», «Материалы», «Службные справочники», «Инструменты и КПА»,



«Выполняемые работы», «Отказы и неисправности», «Сведения об изделии». Заполнение БД должно проводиться на этапах проектирования и разработки новых изделий или при вводе в эксплуатацию ИДС для изделий, уже находящихся на этапе эксплуатации. Пополнение и актуализация БД осуществляются в процессе работы ИДС.

Процесс работы с ИДС разделяют на три режима:

1) измерение (работа с изделием). Подготовка измерительного оборудования и расчет исходных параметров. Прием, регистрация, отображение сигналов. Документирование процесса измерения. Настройка измерительных каналов. Экспресс-диагностика;

2) диагностика (работа с изделием и автономная работа). Постобработка сигналов. Определение диагностических признаков и наиболее информативных из них. Разработка алгоритмов диагностики, их проверка и реализация в экспрессе диагностики, в углубленной диагностике. Автоматизированная углубленная диагностика. Статистический анализ показателей надежности и эффективности ТОиР;

3) автономная работа с БД. Работа с эксплуатационной базой данных, ее корректировка, дополнение и актуализация.

Совместно с БГУ разработан макет ИДС и проведена экспериментальная работа по подтверждению реализуемости заложенных решений. Внешний вид разработанного макета ИДС представлен на рис. 6.

Технико-экономические показатели от внедрения изделия зависят от экономических показателей принятой системы эксплуатации. Далее приведены особенности ИДС, влияющие на экономические показатели:

– снижается время на регистрацию параметров и выполнение технологических операций по техническому обслуживанию за счет предварительной автоматизированной подготовки исходных параметров, автоматической экспресс-диагностики, использования справочной системы. Снижение временных затрат на опробование двигателя самолета МиГ-29 с применением ИДС подтверждено экспериментально (рис. 7);

– за счет автоматизации процессов и использования справочной системы уменьшается количество ошибок технического персонала;

– увеличивается глубина и повышается достоверность диагностики за счет использования диагностической базы знаний и модулей углубленной диагностики из состава специального программного обеспечения;

– повышается уровень квалификации технического персонала за счет использования ИДС в режиме тренажера, справочной системы и диагностической базы знаний.

В оценке материалов экспериментов участвовало шесть специалистов инженерно-технического состава (в том числе руководящего) инженерно-авиационной службы. Результаты экспертной оценки позволяют сделать вывод, что перечень функций макета ИДС полностью удовлетворяет требованиям имеющейся эксплуатационной документации, а реализация и внедрение на его основе ИДС дает возможность проводить процесс контроля авиационных двигателей более эффективно как в составе изделия, так и автономно.



Рис. 6. Внешний вид разработанного макета ИДС

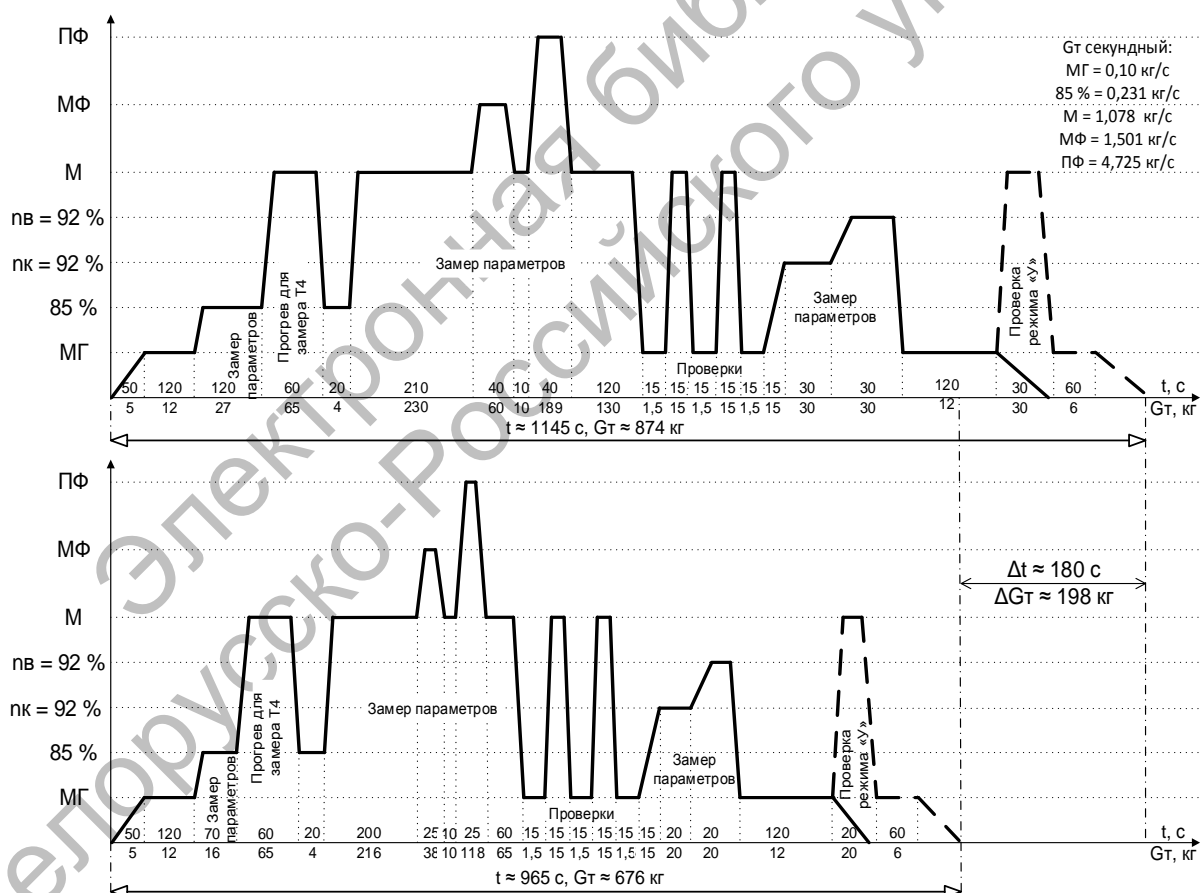


Рис. 7. Графики опробования двигателей РД-33 при выполнении регламентных работ со штатным КПА (верхний) и с ИДС (нижний): МГ – малый газ; 85% – режим 85% мощности;  $n_v = 92\%$  – режим вращения ротора низкого давления с приведенной частотой 92% от номинального;  $n_k = 92\%$  – режим вращения ротора высокого давления с приведенной частотой 92% от номинального; М – режим «Максимальный»; МФ – режим «Малый форсаж»; ПФ – режим «Полный форсаж»; ГТ – массовый расход топлива; t – время

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ахматов, И.** Для самолета в целом и для самолета индивидуально / И. Ахматов, В. Коковин // АвиаПанорама. – 2009. – № 9. – С. 28–29.
2. Разработка технического облика универсального информационно-диагностического средства технического обслуживания авиационных двигателей : отчет о СЧ НИР / ВФ в УО МГВАК ; Науч. рук. Д. А. Ткачѳв. – Минск, 2013. – 112 с.
3. Разработка методик вибрационной диагностики для авиационной техники : отчет о НИР / ВА РБ ; науч. рук. В. Р. Вашкевич. – Минск, 2010 – 170 с.
4. Исследование возможности применения методов вибродиагностики для оценки технического состояния авиационной техники : отчет о НИР / ВА РБ ; науч. рук. В. Р. Вашкевич. – Минск, 2008 – 164 с.

*Статья сдана в редакцию 14 июля 2014 года*

**Константин Евгеньевич Рогачевский**, преподаватель, Минский государственный высший авиационный колледж. Тел.: +375-297-71-88-37.

**Сергей Николаевич Романѳнок**, научный сотрудник, Минский государственный высший авиационный колледж. E-mail: nil@mgvak.by.

**Сергей Николаевич Семенович**, канд. техн. наук, доц., Белорусский государственный университет. Тел.: +375-296-52-48-39.

**Дмитрий Александрович Ткачѳв**, начальник научно-исследовательской лаборатории, Минский государственный высший авиационный колледж. E-mail: nil@mgvak.by.

**Кристина Николаевна Шишло**, инженер-программист, Минский государственный высший авиационный колледж. E-mail: nil@mgvak.by.

**Konstantin Yevgenyevich Rogachevsky**, lecturer, Minsk State Higher Aviation College. Phone: +375-297-71-88-37.

**Sergey Nikolayevich Romanyonok**, researcher, Minsk State Higher Aviation College. E-mail: nil@mgvak.by.

**Sergey Nikolayevich Semenovich**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian State University. Phone: +375-296-52-48-39.

**Dmitry Aleksandrovich Tkachov**, Head of the research laboratory, Minsk State Higher Aviation College. E-mail: nil@mgvak.by.

**Kristina Nikolayevna Shishlo**, programming engineer, Minsk State Higher Aviation College. E-mail: nil@mgvak.by.