

# Восстановление работоспособности центрифуги Ц-30 и модернизация системы управления

Галина Веселуха, Максим Антоненко

В статье описана модернизация системы управления центрифугой Ц-30 на базе российского программного обеспечения MasterSCADA 4D.

## ВВЕДЕНИЕ

В 1957 г., ещё до знаменитых Белки и Стрелки, на орбиту отправили собаку по кличке Лайка. Но, как известно, космос начинается с земли.

Памятник первому живому существу, запущенному в космос, установлен на территории научно-исследовательского испытательного центра (г. Москва, Петровско-Разумовская аллея, район стадиона «Динамо»). Именно с этого места началась первая подготовка лётчиков-испытателей уже вне каруселей; на профессиональной центрифуге.

Обязательным медицинским обследованием является вращение на центрифуге в сидячем положении с пере-

грузкой 3g и 5g. В 2021 г. был реализован проект по созданию модернизированной системы управления центрифуги Ц-30 (рис. 1), расположенной в НИИЦ (АКМ и ВЭ) ЦНИИ ВВС Минобороны России (г. Москва), с помощью российского программного обеспечения и оборудования.

Система управления центрифуги Ц-30 была изготовлена и введена в эксплуатацию шведской фирмой ASEA в 1963 г. по техническому заданию Государственного научно-исследовательского испытательного института авиационной и космической медицины (ГНИИИ АиКМ). Всё своё время существования центрифуга эксплуатировалась в интересах

врачебно-лётной экспертизы лётного состава, проведения научно-исследовательских и сопровождения опытно-конструкторских работ [1].

Машина способна развивать перегрузки до 30 единиц при максимальном градиенте 5g/c. За прошедшие десятилетия машина подвергалась ремонтам, тем не менее до сих пор продолжают использоваться основные механические компоненты той, первой центрифуги: привод, редуктор, ферма с осевым валом, вызывая восхищение качеством и долговечностью.

## НАЧАЛО АВТОМАТИЗАЦИИ

Несколько лет назад в связи с выходом из строя значимых узлов электроустановок из-за проведения рядом строительных работ потребовалось восстановление работоспособности и возобновление плановых работ НИИЦ. В начале января 1988 года шведская ASEA и швейцарская компания Brown Boveri объединились для создания компании ABB, поэтому участие ASEA в работах оказалось невозможным, а участие ABB невыгодным [2]. Осуществить работы можно было только с внесени-



Рис. 1. Центрифуга Ц-30 в 80-е годы

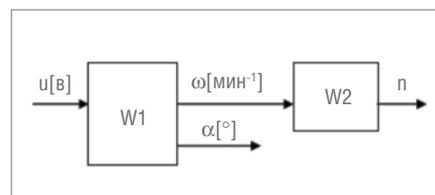


Рис. 2. Модель основного движения центрифуги

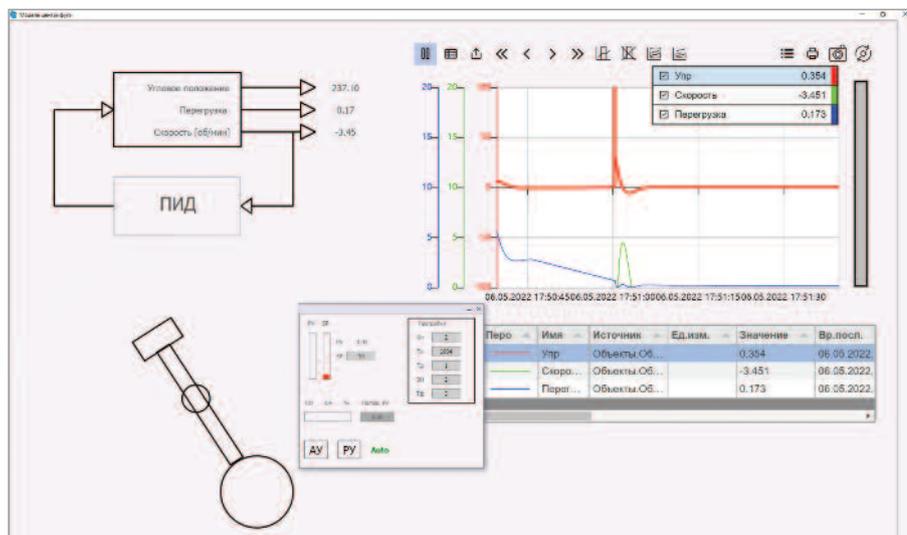


Рис. 3. Интерфейс проверки работы модели основного движения центрифуги

ем изменений в системы управления и электропитания, которые потребовали перепроектирования. Незапланированная авария позволила спроектировать и расширение функциональных возможностей комплекса за счёт применения автоматизированной системы управления центрифугой с использованием российского оборудования и программного обеспечения.

Документация 1963 года была устаревшей, не существовала в электронном виде и не была актуальной. Подробное описание особенностей и режимов работы всего комплекса центрифуги осуществлялось в тесном сотрудничестве с эксплуатирующим персоналом. После выбора принципиальных решений по составу оборудования управления оказалось, что с применением принципиально новых устройств, не существовавших в 1963 году, математические модели должны быть иными. Было принято, что поведение скорости вращения центрифуги может быть упрощено и представлено как вращение идеального тела в невесомости с переменной величиной момента инерции. На рис. 2 представлена модель основного движения, где звено W1 описывает зависимость угловой скорости  $\omega$  и углового положения  $\alpha$  от величины управляющего (опорного) напряжения на тиристорных преобразователях. Звено W2 описывает зависимость перегрузки  $n$  от угловой скорости [3].

Задача системы управления – повторить максимально реалистично линейный полёт, воспроизвести динамику перегрузок и сберечь здоровье летного состава, проходящего испытания во время старта вращения, при быстрых и аварийных остановках. Для реализации этих

задач сначала были смоделированы система управления и процесс вращения объекта. Для этого нашими инженерами, уже ранее сталкивающимися с такими задачами при проектировании аналогичной системы управления центрифуги в ЦПК им. Ю.А. Гагарина, была разработана математическая модель и проведена оценка её работы в среде MasterSCADA 4D на языках ST и C# (рис. 3).

### ОСНОВНОЙ СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ

Для главного движения используется запущенный в работу в 1963 году электропривод. За подачу напряжения 10 кВ через трансформатор отвечает КРУ TER\_SP15\_Etalon производства ООО «Таврида Электрик МСК», а регулирование происходит через систему управления комплектным тиристорным электроприводом производства ООО «Электротехсервис» (Новотроицк). Цифровая система регулирования шкафа обеспечивает поддержание в заданных пределах напряжения и тока якоря электродвигателя. Изменение других параметров центрифуги для создания ощущений, связанных с перегрузками, близкими к тем, которые предстоит испытать лётчику во время полёта при разных обстоятельствах, возложено на верхнеуровневую систему управления. Эта же верхнеуровневая АСУ обеспечила расширение функциональных возможностей центрифуги и её интеграцию с существующими программными комплексами моделирования лётной деятельности и отработки эргономических характеристик современных маневренных самолётов, а также предоставления возможности оператору точно

знать и понимать состояния всех составных частей во время вращения. Всё перечисленное выше, и не только, необходимо было решить команде инженеров. Сердце системы – два шкафа управления с контроллерами TREI-5B-05 M903E (фирма «Трей», Пенза) со средой разработки и исполнительной системой MasterSCADA 4D (компания «МПС софт», Москва).

### ПРИДУМАТЬ, ДЕЙСТВОВАТЬ...

Особенности и сложности в работе:

- работа с критически важным объектом;
- конструирование и изготовление принципиально нового пульта оператора вращения для дистанционного управления центрифугой и шкафа автономного управления главным электроприводом (силового преобразователя);
- разнообразие вспомогательных процессов и алгоритмов (режимы запуска, вращения, остановка, блокировка и сигнализации);
- реализация специальных алгоритмов для воспроизведения имитации перегрузки во время вращения;
- специализированный интерфейс оператора;
- необходимость уточнения параметров процесса «на ходу» при тесной совместной работе со специалистами ЦНИИ.

В этой статье мы имеем возможность остановиться лишь на некоторых ключевых моментах решения. Работа с критическим объектом – это не только ответственность за жизнь и здоровье лётчиков, но и соблюдение большого списка требований: радиоэлектронной защиты, живучести и стойкости к внешним воздействиям, надёжности.

Система автоматизации построена как распределённая многоуровневая и с использованием преимущественно российского оборудования.

Сервер, преобразователи интерфейсов, коммутаторы и мониторы закуплены импортные. MasterSCADA используется не только как SoftLogic в контроллере (MasterSCADA 4D), но и как SCADA на верхнем уровне (MasterSCADA 3): обработка и архивирование данных, реализация интерфейсов оператора, интеграция со смежными системами, отчёты, тренды.

Как и все другие этапы, проектирование пульта дистанционного управления оператора вращения центрифугой (далее – ПДУ) проходило в тесном со-



Рис. 4. Фото ПДУ было и стало

трудничестве с ОАО «Научно-испытательный институт эргатических систем». Вымерялось всё до сантиметров, необходимо было улучшить эргономику и удобство работы оператора за пультом с применением современных, цифровых систем управления и отображения информации. Сравнить новый и старый пульты можно на рис. 4. Пульт был изготовлен на заводе компании КИТ-Энерго [4, 5].

Пульт управления разделён на 2 части, левая служит для запуска и подготовки работы системы в разных режимах, а правая часть пульта используется уже во время вращения, когда оператор в ручном режиме формирует задание по команде медицинского персонала и следит за величиной создаваемой перегрузки.

В ПДУ установлен промышленный безвентиляторный компьютер Kingdu, на котором развёрнута клиентская часть системы для работы с мониторами и используется один контроллер TREI-5B-05 M903E и интеллектуальные модули серии M900. Контроллер и модули отвечают за считывание и обработку сигналов со всех органов управления, а именно с кулачковых переключателей фирмы Kraus & Naimer, с угловых инкрементных энкодеров ЛИР-601а, также вывод числовых значений, введённых с помощью них на сегментные индикаторы СМИ-2 фирмы ОВЕН. На контроллере также реализованы возможности:

- выбора одного из четырёх режимов управления центрифугой: ручного (от органов управления ПДУ), автоматизированного (по заранее созданному сценарию), пилотируемого (по расчётным параметрам, сформированным существующими системами моделирования деятельности), сервис-

ного (с отключением приводного двигателя и блокировки вращения или раздельным включением КРУ, комплектным тиристорным электроприводом и маслонасосом);

- выбор используемой кабины с парковкой в нужное место в зале вращения;
- создание, сохранение и загрузка автоматизированных сценариев управления центрифугой по перегрузке и углу поворота кабины;
- ручное управление величиной перегрузки посредством органа ручного управления в пределах, ограниченных технологически и программно от 0,05g до 15g;
- ручное управление величиной скорости изменения перегрузки в пределе от 0,05g до 5g/с.

Задание сценария автоматизированного режима осуществляется путём загрузки заранее подготовленного файла в формате Excel с внешнего носителя или создания его с помощью интерфейса оператора. После создания профиля вращения или выгрузки его с внешнего носителя необходимо провести провер-

ку на соответствие пределам, в случае несоответствия пределам система подаст сообщение. Автоматическое управление в пилотируемом режиме осуществляется путём получения и обработки контроллером по протоколу UDP пакетов с задающими параметрами перегрузки со средств моделирования деятельности.

Запуск системы начинается с поворота ключа-бирки и нажатия кнопки «ВКЛ система» на ПДУ, после подаётся питание на всё оборудование, входящее в состав АСУ. После получения сигнала «Норма» от компонентов системы в зависимости от выбранного режима в контроллере TREI 5B 05 M903E запускается один из алгоритмов, связанный по протоколу St-Bus со смонтированными в изготовленном шкафу автономного управления главным электроприводом (ШАУ) интеллектуальными модулями серии M900. А с другими устройствами связь организована по протоколам Modbus TCP, PROFINET, UDP и проприетарным протоколам, для которых разрабатывались специальные драйверы на MasterSCADA 4D.

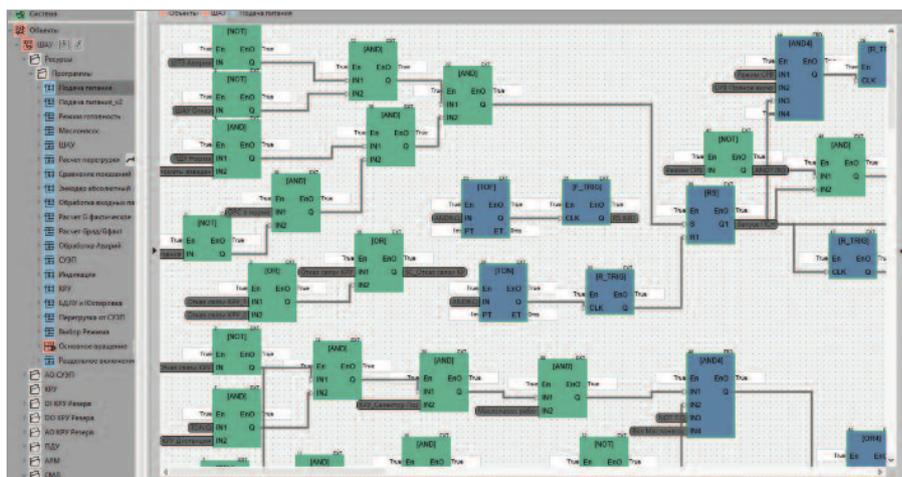


Рис. 5. Последовательные алгоритмы управления включением питания АСУ

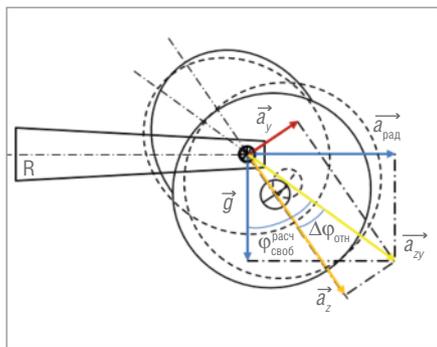


Рис. 6. Графический расчёт скорости вращения ЦФ фактическим и относительным способом

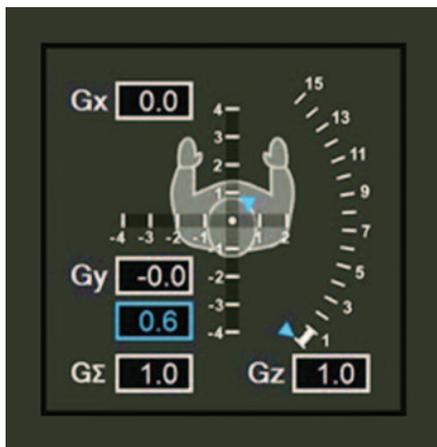


Рис. 7. Индикатор перегрузки по осям

Для основной задачи контроллера установлен цикл (период) 500 мс. Задача 1 выполняется с наивысшим приоритетом и циклом в 50 мс. В эту задачу назначены те алгоритмы, которые требуют наивысшего быстродействия.

Всего в контроллере создано 26 отдельных программ управления (рис. 5).

Основные быстрые задачи связаны с формированием сигналов управления для комплектного электропривода, соответствующих заданной величине и скорости изменения перегрузки в выбранной кабине, в диапазоне технических характеристик центрифуги с погрешностью не более 0,1 ед. в устано-

вившемся режиме и не более 5% в динамическом режиме.

С помощью центрифуг врачи изучают воздействие на человека некоторых сложных видов ускорений, в частности, ускорения Кориолиса. Для этого одновременно с вращением кабины вокруг оси центрифуги осуществляются наклоны и повороты головы испытуемого. При врачебно-лётной экспертизе на центрифуге определяют индивидуальную чувствительность и устойчивость обследуемых к перегрузкам, что имеет существенное значение при отборе кандидатов для обучения лётному делу и при экспертизе пригодности к продолжению лётной работы. Для создания правильной кривой перегрузки в одной из быстрых задач вычисляется скорость вращения фактическим или относительным способом.

Вычисления управления центрифугой по радиальному значению перегрузки (ранее основной и единственный способ) и по результирующим значениям нормальной и боковой (при применении поворотного привода) перегрузок представлены на рис. 6. Для оценки действия перегрузки по осям кабины «грудь – спина», «голова – таз» и «левое плечо – правое плечо» оператор использует специальный индикатор (рис. 7).

Внутри кабины закреплена офтальмологическая дуга, на которой по команде врача загораются световые индикаторы. Задача летчика – максимально быстро среагировать и погасить индикатор нажатием клавиши. Во время вращения имитируется весь цикл «взлёт – полка перегрузки – посадка». В это время безопасность людей и оборудования при возникновении нештатных и аварийных ситуаций гарантируется за счёт применения специальных программно-аппаратных решений за счёт обеспечения нескольких уровней ввода огра-

ничений и контроля безопасности вращения по значениям угловой скорости, перегрузки, темпа изменения (градиента) перегрузки (расчётным и фактическим значениям). Всего применено 19 аварийных и предупредительных блокировок.

Особенностью работы была «близкая кооперация» с ОАО «НИИЭС» при разработке интерфейсов, которые обладают свойствами нелинейности и нестационарности. Новые интерфейсы должны были помочь максимально полно предоставлять всю информацию о параметрах вращения и состоянии оборудования, но при этом быть не перегружены лишней информацией. Главный экран представлен на рис. 8. На левой части отображаются технические параметры и лампы «Нормы» состояния систем, а также основные параметры вращения (выбранная кабина, способ и режим управления, тип задаваемой перегрузки и выбранный профиль, если вращение идёт в автоматическом режиме). В правой части экрана – поддерживающие 37 параметров динамизации индикаторы величины действующей и заданной перегрузки с ограничениями, скорость нарастания перегрузки (темп), угол отклонения кабины, оперативный журнал и основной рабочий тренд. Весь дизайн индикаторов разработали сотрудники НИИЭС, а разработкой и поддержкой готового функционального блока в MasterSCADA 3.X занимались программисты МПС софт.

**Опытная эксплуатация**

Одной из особенностей такого этапа пусконаладочных работ, как «работы под нагрузкой», была необходимость привлечения лётного состава. Правильность реализации теории формирования перегрузки проверялась на практике, после оценки опытными пилотами

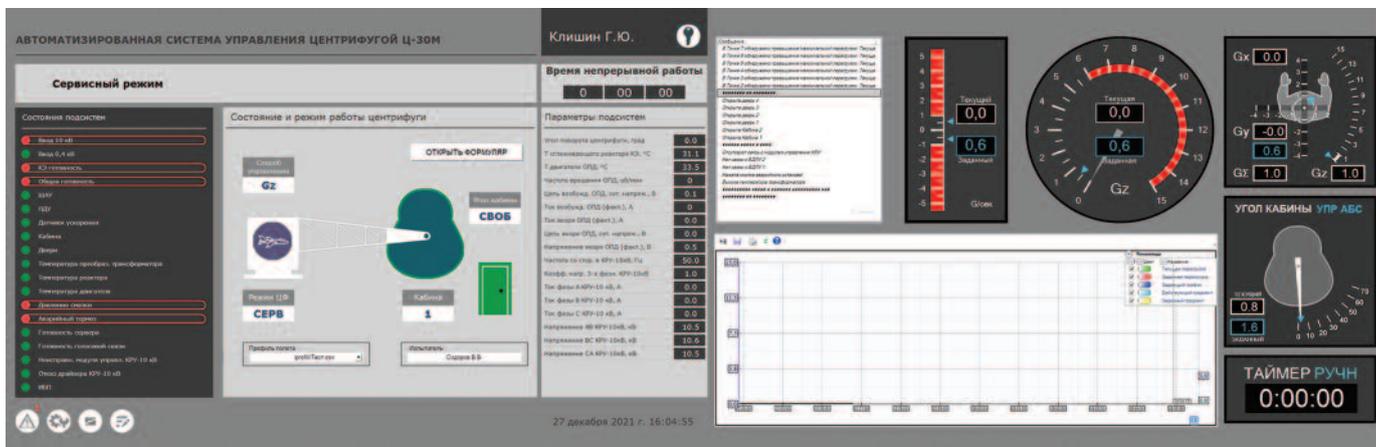


Рис. 8. Развёртка главного экрана оператора



Рис. 9. Оператор во время работы за пультом

были внесены корректировки в настроечные коэффициенты вычислений и алгоритмы управления (рис. 9). На сегодняшний день получено значительное количество опытных данных для утверждения, что объект можно эксплуатировать, проводить все необходимые лётные испытания и медицинские



Рис. 10. Современное место оператора центрифуги Ц-30

эксперименты. Сегодня современное место работы оператора центрифуги Ц-30 и медицинского персонала выглядит как на рис. 10. ●

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаков П.К. и др.* Теория и практика авиационной медицины. М., 1975.

2. Основы космической биологии и медицины / под ред. О.Г. Газенко и М. Кальвина, т. 2, кн. 1. М., 1975.
3. *Сергеев А.А.* Физиологические механизмы действия ускорений. Л., 1967.
4. URL: <https://niiesys.ru/news-ASUC-30M/>.
5. URL: <https://www.roscosmos.ru/32262/>.

## НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

### Компактная клавиатура с указательным устройством IK-77-FSR от компании iKey



Компактная клавиатура IK-77-FSR была разработана компанией iKey для использования вместе с мобильным носимым оборудованием для возможности монтажа на консоль погрузочной техники или для полевых ответственных применений.

Корпус клавиатуры IK-77-FSR выполнен из прочного ABS-пластика с прорезиненными клавишами. Данная модель имеет высокую механическую прочность, устойчива к ударам и вибрациям. Диапазон рабочих температур составляет от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  (температура хранения от  $-40^{\circ}\text{C}$ ). Степень защиты клавиатуры от воздействий окружающей среды — IP65. Клавиатуры IK-77-FSR имеют встроенное указательное устройство, изготовленное по технологии FSR (Force Sensing Resistor) с минимальным использованием механических узлов, что повышает надёжность устройства.

Размер клавиатуры составляет всего  $210 \times 121 \times 17$  мм, при этом на борту у нее 77 клавиш и 10 из них с дополнительным функционалом через клавишу Fn. Модель IK-77-FSR соответствует всем требованиям стандарта MIL-STD-810-G, а также EAC TP TC 037/2016, и уже доступна для заказа. ●



### BOXER-6641-PRO – безвентиляторное решение на «настольном» процессоре

Объём рынка встраиваемых и компактных компьютеров неизменно растёт, а также расширяются их функциональные возможности и, как следствие, увеличиваются сферы их применения. Наряду с компактными безвентиляторными решениями, построенными на базе «мобильных» процессоров, сегодня производители предлагают безвентиляторные решения также и на «настольных» процессорах, что значительно уменьшает стоимость системы.

Компания AAEON представляет BOXER-6641-PRO, выполненный на базе «настольных» чипсетов C246/H310 с поддержкой процессоров Intel 8-го и 9-го поколений. Высокопроизводительные процессоры семейства Coffee Lake с низким тепловы-

делением (не более 35 Вт) позволяют работать системе с пассивным охлаждением в расширенном диапазоне рабочих температур  $-40 \dots +70^{\circ}\text{C}$ . Также встраиваемый компьютер оснащён специализированным источником питания с диапазоном входных напряжений 10–35 В. Компьютер поддерживает память DDR4 SODIMM с контролем чётности и без него общей ёмкостью до 64 Гбайт и оснащён двумя отсеками для накопителей размера 2,5 дюйма. Новинка обладает гибкими возможностями расширения благодаря наличию портов ввода-вывода — 4x LAN, 6x RS-232/422/485 и 8x USB. Модель поддерживает подключение двух независимых дисплеев через видеовыход HDMI, а высокая производительность системы обеспечивает декодирование видео в различных форматах с разрешением до 4K (4096x2130 точек). Благодаря использованию графена в инновационной конструкции теплоотвода BOXER-6641-PRO может работать как при значительно более низких, так и при более высоких температурах внешней среды, что позволяет применять его в жёстких условиях эксплуатации. ●

