



# Универсальный вертолётный пилотажный исследовательский стенд «Березина»

Александр Попов, Михаил Ковадлин, Александр Саморуков, Ольга Алексеева, Виктор Алексеев, Ольга Фролова

**В статье дано описание и изложены принципы работы универсального вертолётного исследовательского пилотажного стенда «Березина», являющегося базовым структурным элементом в процессе разработки и исследования алгоритмов систем автоматического управления и пилотажных комплексов вертолётов.**

## ВВЕДЕНИЕ

ОАО «Конструкторское бюро промышленной автоматики» (ОАО КБПА) является разработчиком и производителем систем автоматического управления, пилотажных и пилотажно-навигационных комплексов для различных типов летательных аппаратов: гражданских и военных вертолётов, беспилотных летательных аппаратов, самолётов малой авиации, ракет-мишеней, дирижаблей и т.п. Предприятие организовано 24 февраля 1947 года, с 1994 года — открытое акционерное общество с государственной долей акций, имеет лицензии на все виды деятельности в авиационной области. ОАО КБПА входит в структуру крупнейшего приборостроительного холдинга «Концерн «Радиоэлектронные технологии» (АО КРЭТ), находящегося под прямым управлением Государственной корпорации «Ростехнологии» (Ростех).

Наибольшее число разработок предприятия выполнено в области создания систем автоматического управления (САУ) для вертолётов фирм «Миль» и «Камов».

Для фирмы «Миль» коллективом предприятия разработаны автопилоты и пилотажные комплексы вертолётов Ми-14, Ми-24, Ми-26, Ми-28Н, Ми-8/17, Ми-171, беспилотного варианта вертолёт Ми-4 и других.

Практически все машины фирмы «Камов», начиная с Ка-25, также оснащены САУ разработки ОАО КБПА. Для вертолёт Ка-50 «Чёрная акула» впервые в

стране был создан отечественный цифро-аналоговый вертолётный пилотажно-навигационный комплекс.

В настоящее время в конструкторском бюро завершены разработки САУ-800 для вертолёт Ка-52 «Аллигатор», САУ-32-226М для вертолёт серии Ка-226Т, ПКВ-М24А для вертолёт серии Ми-24 и Ми-28Н «Ночной охотник», базовый ПКВ-8 для серии вертолёт Ми-8/17, ПКВ-26ДЭ для вертолёт Ми-26Т2, СУУ-А для вертолёт «Ансат» и другие. Активно ведётся создание новых дублированных пилотажных комплексов и систем для вертолёт Ми-38, Ми-171А2, Ка-62.

Принципиальным шагом в развитии предприятия явились разработка, производство, испытания и сертификация базового навигационного пульта-вычислителя ПВН-1 как комплектующего изделия. На базе данного оборудования построены навигационные системы вертолёт Ка-226Т (сертификация завершена), Ми-171А2 (этап испытаний и сертификации). Завершена сертификация в АР МАК САУ-32-226М и ПВН-1-04 в составе борта вертолёт Ка-226Т. В настоящее время ПВН-1 может применяться также на пилотируемых летательных аппаратах (вертолётах и самолётах малой авиации) и как навигационная система, и как автономное бортовое оборудование спутниковой навигации (БОСН).

На предприятии созданы вычислители нового поколения ВУП-У на базе процессорного модуля МВИ-5200 собст-

венной разработки с архитектурой процессоров PowerPC и портированной на них операционной системой реального времени LynxOS-178. Бортовые комплексы вертолёт, построенные на вычислителях ВУП-У, прошли все виды испытаний и производятся на предприятии серийно.

Большое внимание на предприятии уделяется развитию стендов наземной отработки алгоритмического и программно-математического обеспечения бортовых комплексов, стендов контроля и сдачи изделий, производственной и испытательной базы.

Одним из важнейших стендов предприятия является универсальный исследовательский пилотажный стенд «Березина», служащий для исследования и отработки алгоритмического обеспечения пилотажных комплексов вертолёт, а также обеспечения сопровождения их в лётных испытаниях.

Данный стенд создавался на предприятии в течение многих лет и находится в постоянном развитии в соответствии с наращиванием функциональных требований, предъявляемых к пилотажным комплексам вертолёт, развитием средств и возможностей вычислительной техники и сетевых решений.

## НАЗНАЧЕНИЕ СТЕНДА «БЕРЕЗИНА» И РЕШАЕМЫЕ ИМ ЗАДАЧИ

Вертолётный исследовательский стенд «Березина» предназначен для:

- ускорения разработки законов управления и нового пилотажного оборудования;
- повышения экономической эффективности всего цикла разработки пилотажных комплексов за счёт сокращения сроков и затрат, необходимых для проектирования и отработки пилотажных комплексов вертолётов (ПКВ).  
Задачи, решаемые на стенде:
- формирование и отработка принципов и алгоритмов работы пилотажных систем для достижения требуемых лётно-технических характеристик вертолётов;
- исследование алгоритмов повышения устойчивости и управляемости вертолётов;
- исследование директорных режимов;
- исследование отказобезопасности систем управления с лётчиком в контуре управления;
- исследование алгоритмов управления вертолётном с грузом на внешней подвеске;
- исследование систем отображения пилотажной информации;
- формирование методики отработок пилотажных комплексов на стендах наземной отработки;
- сопровождение лётных испытаний с принятием при необходимости оперативных решений по корректировке алгоритмов управления.

Аппаратное обеспечение стенда включает в себя следующие группы оборудования:

- многомашинный вычислительный комплекс с аппаратурой сопряжения;
- кабину стенда с внутрикабинной системой визуализации;
- систему визуализации внекабинной обстановки со сферическим экраном, обеспечивающим сектор обзора в горизонтальной плоскости 160° и вертикальной плоскости 60°;
- систему гидропитания;
- систему электропитания.

Структурная схема универсального вертолётного исследовательского пилотажного стенда «Березина» приведена на рис. 1.

### КАБИНА СТЕНДА

В качестве кабины лётчика-оператора используется кабина тренажёра «Бере-

зина», доработанная под исследовательский стенд. Кабина установлена на стационарное основание.

В кабине имеются штатные органы ручного управления: ручка циклического шага (РЦШ), ручка общего шага (РОШ), педали.

Органы ручного управления механически связаны с гидроусилителями КАУ-115, на которые также подаётся управляющий сигнал с модели САУ через сервоусилители. В проводке управления продольного канала установлен триммерный механизм ТРМ-1, в проводке поперечного и путевого каналов установлены электромеханизмы триммирования МГУ-1, которые при исследованиях используются в качестве триммерных рулевых машинок. На загрузочных пружинах установлены датчики, формирующие разовые команды при их обжатии.

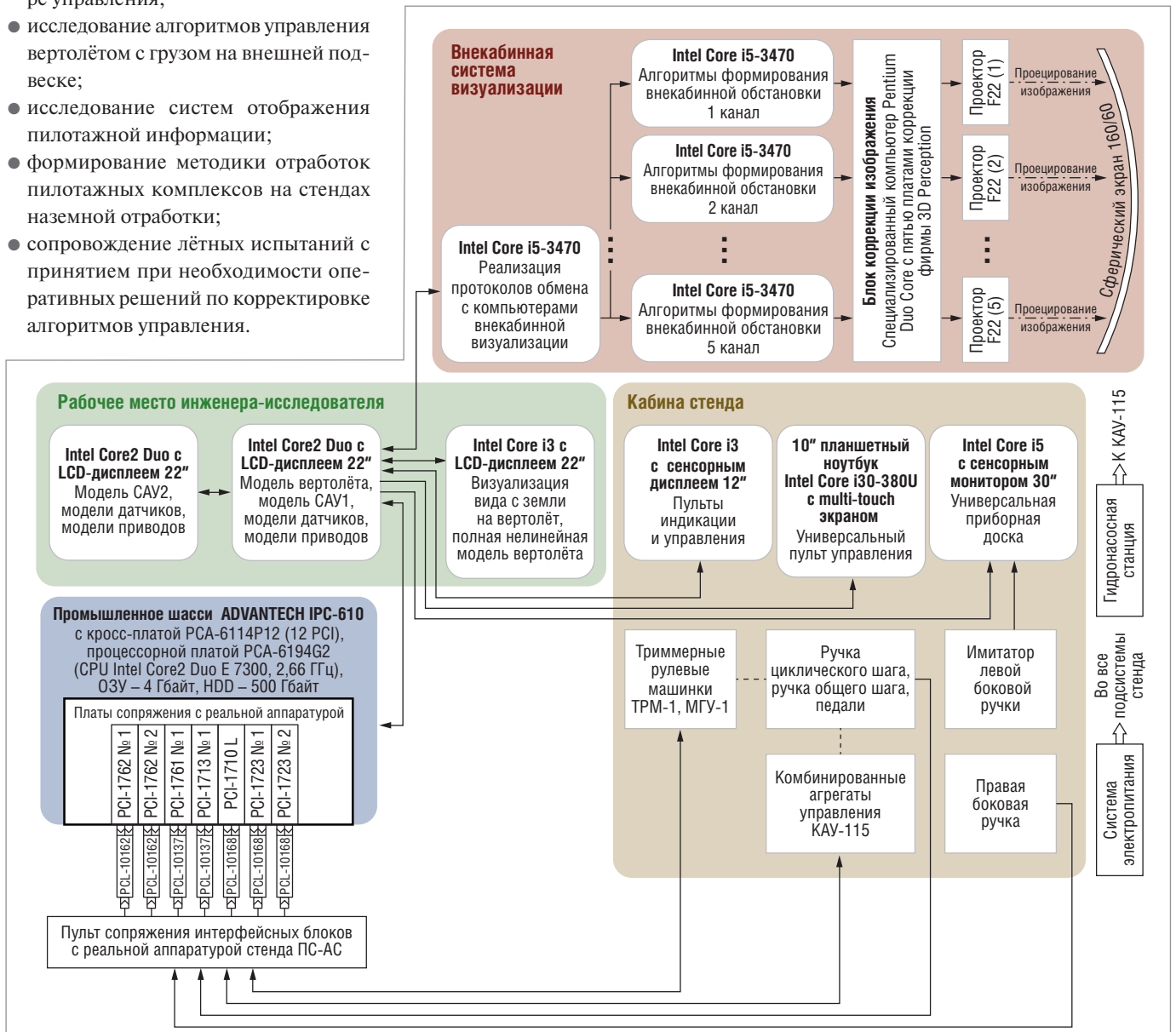


Рис. 1. Структурная схема универсального вертолётного исследовательского пилотажного стенда «Березина»



Рис. 2. Изображение варианта приборной доски на мониторе

На ручке циклического шага имеются:

- кнопка «ТРИММЕР»,
- кнопка «ОТКЛ АП»,
- четырёхпозиционная кнопка управления.

На ручке общего шага имеются:

- четырёхпозиционная кнопка управления,
- кнопка фрикциона.

Педали оборудованы подпедальниками. На правом подлокотнике кресла лётчика имеется боковая трёхканальная ручка РУС-Д1 разработки ОАО НИИАО. Есть возможность подключения имитатора левой боковой ручки (джойстик Thrustmaster Hotas Cougar).

Необходимая для исследований конфигурация органов управления определяется программно.

Внутрикабинная система визуализации включает:

- универсальную приборную доску для отображения лётчику пилотажно-навигационной и другой информации (приборная доска реализована на 30" сенсорном мониторе NEC Multi-Sync LCD 3090 WQXi компьютера Intel Core i5). Пример изображения на мониторе приборной доски приведён на рис. 2;
- универсальный пульт управления, предназначенный для имитации бортовых пультов управления пилотажными комплексами (пульт реализован на 10" планшетном компьютере Fujitsu Lifebook T580 с экраном multitouch). Пример изображения на экране пульта управления пилотажного комплекса приведён на рис. 3;
- пульт индикации и управления, используемый для оперативной настройки лётчиком систем внекабинной и внутрикабинной визуализации (пульт реализован на компьютере Intel Core i3 с сенсорным дисплеем 12" ELO).

### МНОГОМАШИННЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Многомашинный вычислительный комплекс представляет собой объединённые в сеть тринадцать компьютеров. Функциональное назначение компьютеров показано на рис. 1. Обмен информацией между компьютерами производится по линиям Ethernet со скоростью до 1 Гбит/с. Стыковку с реальной аппаратурой обеспечивает компьютер на базе промышленного шасси Advantech IPC-610 с соответствующими интерфейсными модулями.

### СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВНЕКАБИННОЙ ОБСТАНОВКИ

Система внекабинной визуализации (СВ) разработана и поставлена на стенд «Березина» ООО «Компания «Терсис» и представляет собой жёсткий сферический экран ЭК-5С (разработан и изготовлен ООО «АэроСтайл»), на котором с помощью пяти проекторов средствами компьютерной графики лётчику выводится единое слитное изображение внекабинной обстановки. Проекторы установлены на ферме, которая крепится к потолку помещения. В составе системы визуализации используются проекторы F22 1080 Wide Viz-Sim фирмы Projectiondesign.

Изображение создаётся в вычислительном комплексе системы визуализации (ВКСВ). Управление ВКСВ осуществляется от вычислительного комплекса стенда по локальной сети.

Вычислительный комплекс системы визуализации включает в себя:

- шкаф 42U (рис. 4);
- 5 компьютеров генерации изображения (рис. 5);
- блок коррекции изображения;
- консоль KVM;
- концентратор ЛВС;
- два источника бесперебойного питания.

Принцип работы СВ состоит в том, что компьютеры ВКСВ в реальном времени получают по ЛВС от вычислительного комплекса стенда необходимые данные, на основании которых генерируют изображение соответствующих областей пространства, которое проекторами отображается на сферическом экране (рис. 6).



Рис. 3. Экран пульта управления пилотажного комплекса



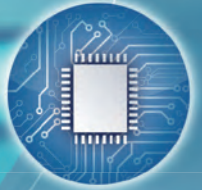
Рис. 4. Шкаф вычислительного комплекса системы визуализации, вид спереди и сзади (двери сняты)

# Безотказный промышленный ПК

Обеспечивает управление и связь для умных фабрик –  
теперь и с CoDeSys



Логическое  
программирование



Ввод данных,  
масштабирование  
и обработка



Работа с полевыми сетями  
в реальном времени

## ADVANTECH

*Enabling an Intelligent Planet*

Advantech APAX-5580 – это промышленный ПК для монтажа на DIN-рейку на базе Intel Core i7/i3/Celeron. Он может дополняться различными модулями ввода/вывода, управлять ими в реальном времени, поддерживать связь через различные интерфейсы; обладает резервированным вводом питания и ИБП для обеспечения безотказности.

- **Логическое программирование**

Поддерживаются языки стандарта IEC 61131-3, включая IL, LD, FBD, SY и SFC.

- **Ввод данных, масштабирование и обработка**

Большие вычислительные возможности позволяют быстро собирать и обрабатывать данные, передавая их в MES и ERP для принятия дальнейших решений.

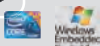
- **Работа с полевыми сетями в реальном времени**

Единая платформа, поддерживающая различные полевые шины, не требует дополнительных шлюзов при работе с периферией различных производителей.



### APAX-5580

Промышленный компьютер  
на базе Core i7/i3/Celeron:  
2xGbe, 2xPCIe, VGA



### APAX-5000

Полный набор модулей  
ввода/вывода



### APAX-5435

Модуль iDoor mPCIe



Программное обеспечение  
CoDeSys Control RTE 3.5 patch 6

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ ADVANTECH**

**PROSOFT® 25 ЛЕТ**

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



Реклама



Рис. 5. Компьютер генерации изображения

**ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТЕНДА**

Программно-математическое обеспечение стенда, разработанное специалистами предприятия, поддерживает его работу на этапе подготовки стенда к моделированию, при проведении работ с лётчиком в контуре управления и на этапе обработки результатов экспериментов.

Программное обеспечение исследовательского стенда, применяющееся на этапах, предворяющих полёты с лётчиком, разработано с учётом необходимости проведения расчётов и математического моделирования для проверки выполнения требований не только ТЗ на конкретное изделие, но и стандарта ADS-33 (Aeronautical Design Standard – стандарт авиационного проектирования). Основная часть этих требований базируется на анализе частотных характеристик, нулей и полюсов передаточных функций и переходных процессов.

В состав программного обеспечения входят:

- САПР «ЭКСПАНСИЯ» для проведения анализа, синтеза и моделирования в классе линейных систем. Эта система автоматизированного проектирования, разработанная в ОАО

КБПА, позволяет решать следующие задачи:

- проводить анализ линейной системы путём расчёта нулей и полюсов, построения частотных характеристик, областей устойчивости с линиями равного демпфирования и равного быстродействия, корневых годографов;
- выполнять синтез регуляторов заданной структуры;
- проводить моделирование линейных систем с синтезированными линейными законами управления, а также моделировать работу непрерывных и цифровых фильтров.

- Программы для выполнения математического моделирования на нелинейных моделях. К ним относятся:

- библиотеки нелинейных моделей вертолётов;
- программы, реализующие нелинейные модели приводов, датчиков и турбулентной атмосферы;
- библиотека программ для реализации пилотажных законов управления;
- программы для регистрации параметров моделирования и отображения графической информации на экране.

- Программы для обработки результатов моделирования (просмотр и сравнение графиков, их статистическая обработка, оформление и печать осциллограмм). Здесь используются те же программы, что и при обработке стендовых экспериментов, что позволяет сопоставлять результаты математического и стендового моделирования.

При подготовке стенда к моделированию программное обеспечение выполняет следующие задачи.

- Тестирование аппаратуры стенда. Тест-программы позволяют проверять работоспособность аппаратной части стенда (линий связи, индикато-

ров, датчиков, рулевых агрегатов), регистрировать в динамике необходимые параметры, снимать частотные характеристики рулевых машин и т.п.

- Реализация диалогового интерфейса с пользователем в процессе настройки параметров стенда. С помощью этой программы перед началом моделирования инженер-исследователь выбирает нужную модель вертолёта, задаёт начальные условия параметров полёта, вид и параметры внешних возмущений, список сигналов и разовых команд для регистрации. Интерфейс с пользователем выполнен в виде системы многоуровневого меню и диалоговых окон (пример приведён на рис. 7).

При имитации полётов с лётчиком в контуре управления программное обеспечение выполняет следующие функции.

- Организация работы стенда в реальном времени. Всё стендовое моделирование осуществляется с шагом дискретизации  $T_0=0,01c$ , временная диаграмма выдерживается с точностью до 1 мкс.
- Стыковка вычислительного комплекса с аналоговой аппаратурой стенда. Общаются 44 выходных сигнала ЦАП и 37 входных сигналов АЦП, а также 50 входных и 45 выходных разовых команд.
- Обмен данными между компьютерами вычислительно-моделирующего комплекса. Используются разработанные в ОАО КБПА программы для обмена данными через сетевой интерфейс по протоколу UDP.
- Расчёт моделей ЛА, датчиков, турбулентной атмосферы, навигационной обстановки. Программное обеспечение стенда позволяет оперативно выбирать нужную модель летательного аппарата, состав датчиков, вид и параметры ветра, а также начальные условия полёта.



Рис. 6. Общий вид отображаемой информации стенда «Березина»

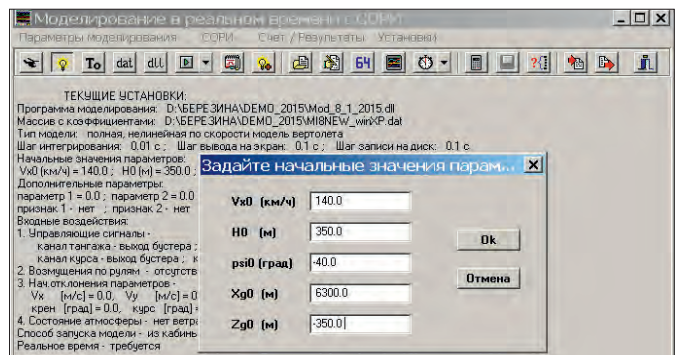


Рис. 7. Экран компьютера инженера-исследователя при настройке параметров моделирования

Там,  
где ИБП бессильны

## Защита от перенапряжений

Ваше ИТ-оборудование в безопасности даже в критических ситуациях



### Модуль SZM-AC-3.0

#### Параметры

- вход 220, 380 В
- мощность 3, 5, 10, 15 кВт
- рассеиваемая энергия импульсов перенапряжения до 20 кДж

#### Защита от

- повышенного напряжения
- импульсов от 4,5 до 10 кВ и разрядов молнии
- последствий обрыва нулевого провода
- преднамеренных электромагнитных воздействий

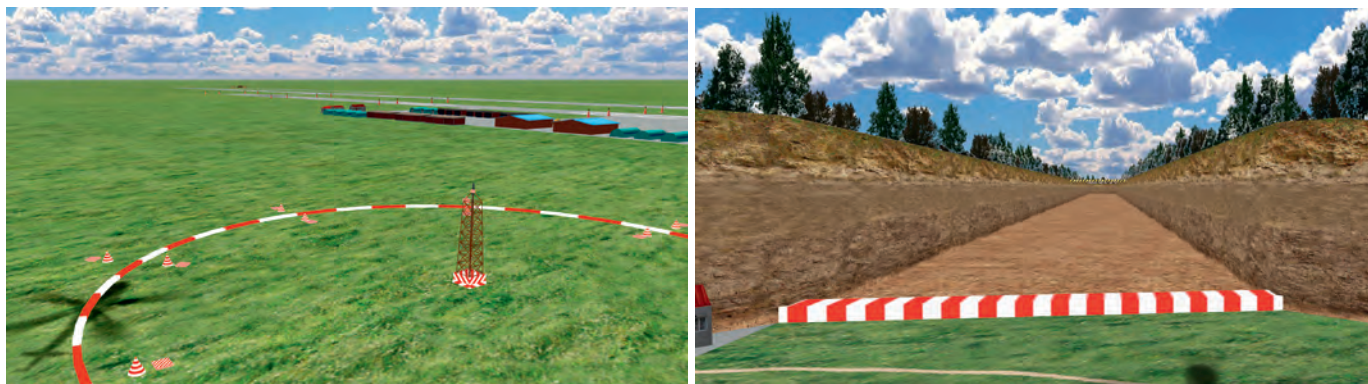


Рис. 8. Изображения полигонов для отработки типовых манёвров

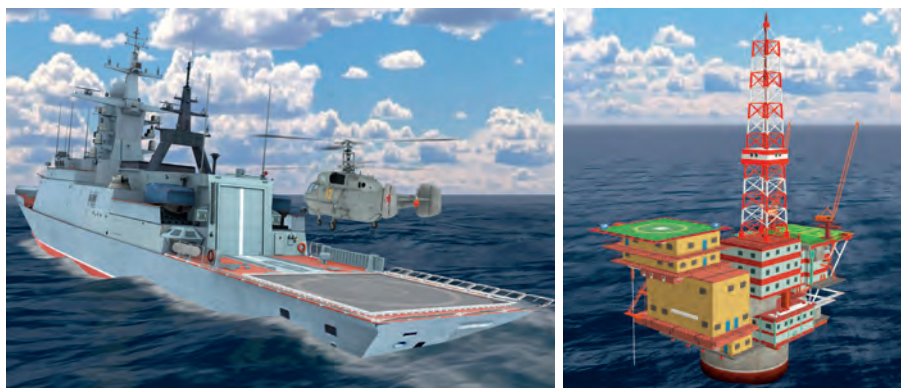


Рис. 9. Морские сцены для отработки посадки на буровую платформу или качающуюся палубу корабля



Рис. 10. Вид с земли на вертолёт в процессе стендового моделирования

- Имитация работы бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ). Рассчитываются алгоритмы управления, и реализуется логика пульта управления пилотажного комплекса. Программирование выполняется на языке С, что в дальнейшем позволяет использовать отработанные на стенде программы пилотажных алгоритмов в качестве завершённых и протестированных модулей бортового программного обеспечения.
- Регистрация параметров моделирования. На жёсткий диск компьютера в процессе моделирования записывается одновременно до 300 параметров. Максимальная частота регистрации 200 Гц.
- Отображение параметров моделирования на экране. В процессе моделирования на экран компьютера для инженера-исследователя в реальном времени выводятся графики параметров полёта и разовых команд.
- Расчёт и отображение внекабинной обстановки. Изображение системы внекабинной визуализации формируют генераторы изображений окружающей обстановки, программное обеспечение которых разработано с использованием текущей версии библиотеки Microsoft DirectX SDK. Кроме того, на отдельных компьютерах реализована программа, синхронизи-

рующая работу пяти каналов системы визуализации, и система, формирующая итоговое изображение для корректного отображения на сферическом экране. На текущий момент в системе внекабинной визуализации реализованы четыре сцены:

- аэродром с двухкилометровой взлётно-посадочной полосой;
- полигон для отработки типовых манёвров в соответствии со стандартом ADS-33 (рис. 8);
- морская сцена с возможностью отработки посадки на буровую платформу или качающуюся палубу корабля (рис. 9);
- аэродром, имеющий реальный прототип.
- Внекабинная визуализация (вид с земли). Работа этой программы осуществляется на тех же аппаратных средствах, что и отображение внекабинной обстановки для лётчика, и позволяет инженеру-исследователю наблюдать за поведением вертолёта из любой точки пространства (рис. 10). Местоположение точки наблюдения может меняться в процессе полёта.
- Расчёт и отображение внутрикабинной обстановки. Программное обеспечение универсальной приборной доски и пульта позволяет отображать вид реальной приборной доски и пульта ис-

следуемого летательного аппарата. Изображения на экранах компьютеров, имитирующих приборные доски и пульта, приведены на рис. 2 и 3.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За годы эксплуатации стенда на нём прошли исследования и отработку алгоритмы систем автоматического управления практически для всех разработанных в ОАО КБПА пилотажных комплексов вертолётов. На этапе лётных испытаний стенд позволял оперативно корректировать алгоритмическое и программное обеспечение САУ. В процессе разработки бортовых комплексов на стенде «Березина» проводили исследования с выдачей предварительных рекомендаций и лётных оценок многие лётчики-испытатели фирм ОАО «Камов», ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля», ЛИИ им. М.М. Громова, ОАО «КВЗ», Центра боевой подготовки вертолётов армейской авиации.

Таким образом, созданный в ОАО КБПА уникальный вертолётный пилотажный исследовательский стенд «Березина» позволяет внедрять в разработки современное бортовое алгоритмическое и программно-математическое обеспечение, существенно повышает качество обрабатываемых бортовых систем, снижая при этом затраты на проведение лётных испытаний и эксплуатацию. ●

# Fastwel

-40°C / +85°C



РОССИЙСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

## StackPC. Курс на импортозамещение



- Разработано и произведено в РФ
- Долговременная доступность
- Выделенная техническая поддержка

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ FASTWEL

**PROSOFT® 25 ЛЕТ**

**МОСКВА** Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru  
**С.-ПЕТЕРБУРГ** Тел.: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • info@spb.prosoft.ru • www.prosoft.ru  
**ЕКАТЕРИНБУРГ** Тел.: (343) 376-2820 • Факс: (343) 310-0106 • info@prosoftsystems.ru • www.prosoftsystems.ru

