УДК 004.946

С.В. Назаров, С.К. Киселев

ПОДГОТОВКА ТРЕХМЕРНЫХ ЛАНДШАФТОВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛУНАТУРНОГО СТЕНДА ПРОВЕРКИ И ОТЛАДКИ КОМПЛЕКСА БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВЕРТОЛЕТА

Назаров Сергей Васильевич, окончил радиотехнический факультет Ульяновского государственного технического университета, аспирант кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ, ведущий инженер-программист АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения». Имеет статьи, свидетельства о регистрации программного обеспечения. [e-mail: nazir1984@mail.ru].

Киселев Сергей Константинович, доктор технических наук, окончил Ульяновский политехнический институт по специальности «Авиаприборостроение», заведующий кафедрой «Измерительно-вычислительные комплексы УлГТУ. Имеет монографии, статьи, патенты в области приборостроения. [e-mail: ksk@ulstu.ru].

Аннотация

В статье рассмотрена практическая методика подготовки трехмерных ландшафтов больших размеров на основе бесплатных источников спутниковой информации и способ разбиения ландшафта на более мелкие участки для системы визуализации. Задача рендеринга трехмерных ландшафтов рассмотрена применительно к комплексным полунатурным стендам для проверки и отладки комплексов бортового оборудования вертолетов на этапе опытно-конструкторской работы и эксплуатации. Определены требования к ландшафту и технические ограничения при подготовке трехмерного ландшафта большого размера. Указаны перспективные направления дальнейших работ.

Ключевые слова: трехмерный ландшафт, система визуализации, комплексный полунатурный стенд, комплекс бортового оборудования.

doi:

PREPARING THE THREE-DIMENSIONAL LANDSCAPES FOR HIL-SIMULATION BENCH FOR HELICOPTER AVIONICS SYSTEMS

Sergei Vasilevich Nazarov, graduated from the Radioengineering Faculty of Ulyanovsk State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Measuring and Computing Systems of UISTU, Leading Software Engineer of JSC Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau; an author of articles, certificates of software registration. e-mail: nazir1984@mail.ru.

Sergei Konstantinovich Kiselev, Doctor of Science in Engineering; graduated from Ulyanovsk Polytechnic Institute with a degree in Aircraft and Instrument Engineering; Head of the Department of Measuring and Computing Systems of UISTU; an author of monographs, articles, patents in the field of professional equipment. e-mail: ksk@ulstu.ru.

Abstract

The article discusses the practical methodology for preparing large-sized three-dimensional landscapes based on free sources of satellite information and the method of dividing the landscape into smaller sections for the visualization system. The task of rendering three-dimensional landscapes is considered in relation for HIL-simulation bench for helicopter avionics systems at the stage of experimental design work and exploitation. The requirements are defined for a landscape and technical limitations of preparing the large-sized three-dimensional landscapes. Perspective directions for further work are specified.

Key words: three-dimensional landscape, visualization system, HIL-simulation bench, avionics systems.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс развития авиации и вертолетной индустрии в частности сопровождается развитием бортового оборудования. Начальный период развития авиации был связан с решением проблем аэродинамики, созданием конструктивных материалов и повышением мощности двигателей. С развитием радиоэлектроники появилась возможность расширять функциональные возможности блоков бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) летательного аппарата (ЛА). Увеличение количества и сложности функций БРЭО, расширение взаимодействующих интерфейсов и ужесточение требований к аппаратуре стало причиной перехода от отдельных приборов к комплексу бортового оборудования (КБО) ЛА.

Основу этого комплекса составили развивающиеся бортовые вычислительные системы, формировавшие траекторию полета и управлявшие движением ЛА по ней. Под КБО стали понимать совокупность управляющей вычислительной машины, приборов и систем, предназначенных для комплексного управления ЛА [1].

Первые КБО имели одну вычислительную машину и были построены по централизованному принципу на базе аналогового вычислителя. В дальнейшем КБО строились по федеративному принципу, предполагавшему наличие нескольких отдельных специализированных вычислителей. Каждый вычислитель был предназначен для решения одной из задач управления. При этом каждая функция управления была реализована в отдельных блоках с единым индикационным полем кабины экипажа.

Эволюция федеративного КБО привела к тому, что количество цифрового БРЭО, устанавливаемого на борту ЛА, резко возросло, и, как следствие, существенно усложнилось программное обеспечение (ПО) вычислительных машин. Возникли трудности в разработке и отладке ПО, что повлекло за собой расширение функциональных возможностей стендово-моделирующей и испытательной базы, глубины контроля КБО в целом.

Современные вертолеты оснащаются цифровым КБО, а панель приборов является единым информационно-управляющим полем (ИУП), построенным по принципу «стеклянной кабины» на базе многофункциональных жидкокристаллических индикаторов [2, 3].

Интегратором КБО на вертолет до недавнего времени был сам завод-изготовитель вертолета. Однако для ускорения процесса разработки и ввода вертолета в эксплуатацию сегодня определяется разработчик КБО, который не только разрабатывает, но и собственными силами проводит весь комплекс мероприятий по интеграции КБО, а также его отладку и испытания в автономной лаборатории с помощью стенда полунатурного моделирования [4, 5].

1 НАЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛУНАТУРНОГО СТЕНДА И СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Комплексные стенды полунатурного моделирования при разработке КБО предназначены для проведения испытаний работоспособности как отдельных систем, так и КБО в целом, а также для оценки технических характеристик систем, оптимизации взаимодействия экипажа с КБО с целью улучшения его характеристик, т. е. в целом для проведения значительного объема наземной отработки КБО в лабораторных условиях до установки его на борт и сокращения объема летных испытаний [1].

На этапе опытно-конструкторских работ стенд используется при решении следующих задач:

- исследование структуры и параметров ИУП кабины пилотов вертолета;
- исследование и оценка технических решений по структуре КБО;
- отработка эргономических характеристик ИУП с привлечением действующих пилотов и экспертов;
- автономная проверка функционирования БРЭО (в т. ч. входной контроль);
- проверка бортовых схем подключения;
- отработка ПО разрабатываемых и модернизированных систем КБО;
- отработка протоколов информационного взаимодействия [6] и проверка функционирования ПО систем КБО;
- комплексная проверка КБО с реальными блоками или их имитаторами;
- проведение испытаний на отказобезопасность при имитации отказов критичных функций в соответствии с оценкой функциональных опасностей на КБО и структурных схем контуров отказобезопасности;
- проведение предварительной эргономической экспертизы;
- сопровождение летных испытаний [6].

Для решения большинства указанных задач необходима максимально полная имитация процесса пилотирования вертолета [4, 5, 7].

На этапе эксплуатации КБО стенд используется для решения следующих задач:

- поиск неисправностей с воспроизведением полётных дефектов;
- проведение доработок ПО, аппаратуры КБО и их проверок;
- проведение типовых испытаний;
- обучение технического персонала и экипажей вертолетов.

Для имитации процесса пилотирования вертолета необходима система визуализации закабинной обстановки, задачами которой являются:

- формирование реалистичного синтезированного изображения закабинной обстановки по данным цифровых карт: рельефа местности и водной поверхности, растительности, наземных и надводных объектов (инженерные сооружения, транспортные средства), воздушных судов;

- формирование визуальных эффектов: отображение закабинной обстановки в режимах «день», «ночь», «закат/рассвет», отображение метеоявлений «снег», «дождь», «туман», отображение движущихся облаков в соответствии с метеоусловиями (типом облачности, направлением и силой ветра); отображение реалистичной водной поверхности в режимах «легкое волнение», «шторм»; отображение снежного или пылевого вихря от несущих винтов вертолета, при движении вблизи поверхности земли [5];

- формирование и передача в программную модель динамики движения вертолета данных о текущей высоте для последующей передачи этой информации в системы КБО;

- формирование и передача в программную модель динамики движения вертолета данных о подстилающей поверхности для последующей передачи этой информации в системы КБО в режиме имитации системы раннего предупреждения близости земли [7].

2 ТРЕБОВАНИЯ К ЛАНДШАФТУ

Исходя из задач, решаемых стендом, требования к ландшафту для системы визуализации закабинной обстановки следующие:

- размер ландшафта должен быть достаточно большим (не менее 50 × 50 км), что обеспечит выполнение любых задач при отладке КБО, в т. ч. длительный перелет по маршруту между городами;
- рельеф местности должен быть приближен к реальному, что позволит достоверно воспроизводить на комплексном полунатурном стенде записи полетов.

Для этого необходимо следующее:

- шаг сетки (детализация) карты высот должен быть не больше 30 м;
- текстуры рельефа должны формироваться на основе спутниковых снимков высокой четкости.

3 ТЕХНИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Задача подготовки ландшафтов большого размера (например, 400 × 100 км) и его рендеринга с большой частотой кадров (не менее 50) является сложной ввиду следующих обстоятельств:

- загрузка сразу всего ландшафта со всеми элементами (в т. ч. деревьями, инженерными сооружениями, строениями и т. д.) требует значительного количества времени и объемов памяти (оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и видеопамати);

- рендер сразу всей карты (одним массивом данных) невозможен ввиду технических ограничений видеокарт, а именно:

- ограничения на максимальное число вершин ландшафта;
- ограничения на размер текстуры;
- ограничения по количеству текстур для ландшафта;
- ограничения по объему видеопамати, поскольку элементы ландшафта (вершины, текстуры и т. д.) хранятся в видеопамати.

4 СПОСОБ РАЗБИЕНИЯ ЛАНДШАФТА НА МЕЛКИЕ УЧАСТКИ

Для решения данной задачи требуется разбить большой ландшафт на более мелкие участки, которые будут рендериться без каких-либо технических ограничений видеокарт. Разбиение большого ландшафта на более мелкие позволит графической системе (ГС) определять, каким участкам нужен рендеринг, а каким нет. Кроме того, ГС дается возможность решать какой степени детализации требует при рендеринге каждый участок, что ускоряет ход обработки менее важных из них [8].

Одна из основных задач конвейера рендеринга состоит в том, чтобы определить какие участки нуждаются в отображении, а какие нет. В этом – основная причина решения о дроблении большого ландшафта. Анализ видимости – это простое выяснение того, какие объекты находятся в поле видимости, а какие нет. Каждый участок может быть описан параллелепипедом, каждая точка которого проверяется на вхождение в поле зрения. Поле зрения представляет собой шестигранник, который описывает объем пространства, видимый через камеру. Представление участков в поле зрения показано на рисунке 1. Закрашенные участки попадают в поле зрения, незакрашенные – нет.

Рис. 1. Поле зрения камеры

В целях рационального распределения ресурсов памяти должна быть организована динамическая загрузка и выгрузка участков ландшафта. Участки, находящиеся за радиусом выгрузки, удаляются из памяти, ожидая того момента, когда они понадобятся снова (см. рис. 2).

Разбиение ландшафта на участки выполняется с учетом ограниченного размера текстуры в современных видеокартах, максимальный размер которой в настоящее время составляет 16384 × 16384 точек. Однако для поддержки рендеринга ландшафта на большинстве видеокарт рекомендуется использовать текстуры размером не более 4096 × 4096 точек. Также следует

учесть, что размер текстуры в точках должен быть кратным степени 2 (256×256 , 512×512 , 1024×1024 , 2048×2048 , 4096×1024 , 2048×256 и т. д.). Это связано с технологией выбора уровня детализации текстур для объектов с различной удаленностью от камеры (mipmapping).

Таким образом, подготовленную текстуру всего ландшафта шириной W_T и высотой H_T необходимо разбить на N_W по ширине и N_H по высоте участков в соответствии с выбранным размером текстуры участка ландшафта $T_{baseW} \times T_{baseH}$.

В случае если размер текстуры ландшафта не кратен выбранному размеру текстуры, N_W и N_H рассчитываются по формулам:

$$N_W = \text{TRUNC} \left(\frac{W_T}{T_{baseW}} \right) + 1, \quad (1)$$

$$N_H = \text{TRUNC} \left(\frac{H_T}{T_{baseH}} \right) + 1. \quad (2)$$

Функция TRUNC возвращает целую часть от вещественного числа.

В случае, если размер текстуры ландшафта кратен выбранному размеру текстуры, N_W и N_H рассчитываются по формулам:

$$N_W = \frac{W_T}{T_{baseW}}, \quad (3)$$

$$N_H = \frac{H_T}{T_{baseH}}. \quad (4)$$

После того как текстуры ландшафта разбиты по сетке из $N_W \times N_H$ участков, необходимо разбить на участки рельеф ландшафта. Рельеф ландшафта представляет собой карту высот – способ представления геометрии ландшафта в виде двумерного массива значений высот, вписанных в регулярную сетку. Карта высот, размером $L_W \times L_H$ точек разбивается на $N_W \times N_H$ участков.

Размер (количество точек) участка карты высот определяется по следующим формулам:

- для участков с 1 по $N_W - 1$ (на рисунке 3 не закрашены):

$$K_W = \text{TRUNC} \left(\frac{(L_W - 1) \cdot T_{baseW}}{W_T} \right) + 1; \quad (5)$$

- для участков с 1 по $N_H - 1$ (на рисунке 3 не закрашены):

$$K_H = \text{TRUNC} \left(\frac{(L_H - 1) \cdot T_{baseH}}{H_T} \right) + 1; \quad (6)$$

- для участков N_W (на рисунке 3 заштрихованы):

$$K_{W_{last}} = L_W - (K_{W1} - 1) \cdot (N_W - 1), \quad (7)$$

где K_{W1} – количество точек в сетке по ширине первого участка;

Рис. 2. Зоны отображения, загрузки и выгрузки участков ландшафта

Рис. 3. Разбиение сетки высот на участки

- для участков N_H (на рисунке 3 закрашены):

$$K_{H_{last}} = L_H - (K_{H1} - 1) \cdot (N_H - 1), \quad (8)$$

где K_{H1} – количество точек в сетке по высоте первого участка.

Таким образом, карта высот делится на участки, размеры которых определены, однако при расчете размеров участков по формулам 5, 6 используется функция выделения целой части из вещественного числа, поскольку в общем случае деление количества точек ландшафта на относительный размер текстуры участка не является целым числом. В связи с этим необходимо определить реально используемый размер текстуры, который необходимо использовать при расчете текстурных координат вершинных буферов участков

ландшафта. Это позволит исключить смещение текстур по ландшафту. Используемые размеры текстур будут меньше $T_{baseW} \cdot T_{baseH}$ и определяются по формулам:

$$T_{Real_W}(i) = \frac{(K_{Wi} - 1) \cdot W_T}{L_W - 1}, \quad (9)$$

где $i = 1 \dots N_W$ – номер участка по ширине,

K_{Wi} – количество точек по ширине карты высот i -го участка;

$$T_{Real_H}(i) = \frac{(K_{Hi} - 1) \cdot H_T}{L_H - 1}, \quad (10)$$

где $i = 1 \dots N_H$ – номер участка по высоте,

K_{Hi} – количество точек по высоте карты высот i -го участка.

Вне зависимости от рассчитанного используемого размера текстур участков ландшафта, размеры текстур должны иметь размер $T_{baseW} \cdot T_{baseH}$, которые можно дополнить либо частью информации от следующей текстуры, либо залить черным цветом. Размер крайних (последние по ширине и высоте) текстур будет также отличаться от размера $T_{baseW} \cdot T_{baseH}$. В таком случае необходимо откорректировать размер таких текстур до нужного, причем добавленную область текстуры залить черным цветом.

Начальные значения координат текстур участков (в пикселях) определяются по формулам:

$$T_{start_W}(i) = TRUNC((i - 1) \cdot T_{Real_W}), \quad (11)$$

где $i = 1 \dots N_W$ – номер участка по ширине сетки;

$$T_{start_H}(i) = TRUNC((i - 1) \cdot T_{Real_H}), \quad (12)$$

где $i = 1 \dots N_H$ – номер участка по высоте сетки.

Кроме рассчитанного используемого размера и начальных значений координат текстур участков ландшафта, необходимо рассчитать начальное смещение текстуры, поскольку используемый размер текстур является вещественным числом и начало следующего

участка начинается также не с начала текстуры. Смещения текстуры, которые необходимо использовать при расчете текстурных координат вершинных буферов участков ландшафта, определяются по формулам:

$$dT_W(i) = (i - 1) \cdot T_{Real_W} - TRUNC((i - 1) \cdot T_{Real_W}) \quad (13)$$

где $i = 1 \dots N_W$ – номер участка по ширине сетки;

$$dT_H(i) = (i - 1) \cdot T_{Real_H} - TRUNC((i - 1) \cdot T_{Real_H}) \quad (14)$$

где $i = 1 \dots N_H$ – номер участка по высоте сетки.

5 МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ТРЕХМЕРНОГО ЛАНДШАФТА БОЛЬШОГО РАЗМЕРА НА ОСНОВЕ БЕСПЛАТНЫХ ИСТОЧНИКОВ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Построить ландшафт (рельеф местности) в виде матрицы высот земной поверхности с шагом сетки 1 угловая секунда (не более 30 м) и спутниковых фотометрических данных можно по данным открытых источников информации. Для построения ландшафта потребуются:

- программа Global Mapper 17 (платная) – инструмент для получения матрицы высот требуемого размера и разрешения сетки;
- программа SAS.Planet Release 160707 (бесплатная) – инструмент для получения спутниковых снимков для наложения на матрицы высот.

Для построения необходимо запустить SAS.Planet Release 160707 на ПК, выбрать источник карт по команде меню «Источник->Интернет». Выключить все слои карт по команде в меню «Слои->Скрыть все», выбрать в меню карту со спутника на выбор:

- «Карты->Google->Спутник (Google)»;
- «Карты->Яндекс->Спутник (Яндекс.Карты)»;
- «Карты->Bing->Bing Maps - спутник».

Ниже рассматривается вариант спутниковых карт «Bing Maps - спутник». Пример такой карты показан на рисунке 4.

Рис. 4. Окно выбора спутниковых карт

Далее необходимо выбрать систему отображения координат «WS г. (W12.1233°)» в меню «Параметры->Настройки» во вкладке «Внешний вид». Выбрать необходимую местность будущего ландшафта. Поместить курсор «мыши» в центр местности и нажать правую кнопку «мыши», в выпадающем меню выбрать «Поставить метку». В появившемся окне есть необходимая информация (широта и долгота) для извлечения матрицы высот. В данной методике в качестве наглядного примера рассмотрена Ульяновская область.

Запустить Global Mapper 17. В главном окне программы нажать кнопку «Load Sample Data». В появившемся окне выбрать слой «ne_10m_admin_0_counties.shp». Для перехода окна карты в нужные географические координаты района, с которого будет сниматься матрица высот, необходимо в меню выбрать «Search->Find Address...», ввести координаты из окна координат программы SAS.Planet Release 160707 в градусах в формате WGS84 («nn.nnnnnnnnnn,ee.ffffffffnn», где nn.nnnnnnnnnn – широта, ee.ffffffffnn – долгота) и нажать кнопку «Search». В появившемся окне нажать кнопку «Center Map on Address», затем нажать кнопку «Close».

Для загрузки карты высот зайти в меню «File->Download Online Imagery/Topo/Terrain Maps...». В появившемся окне (показано на рисунке 5) выбрать источник карты высот «ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data» и нажать кнопку «Connect».

Выбрать удобный масштаб командами меню «View->Zoom In» и «View->Zoom Out». Убрать ненужные слои карты и оставить только слой матрицы высот «ASTER GDEM v2

Worldwide Elevation Data» нужно по команде меню «Tools->Control Center...».

Окно программы Global Mapper 17 с загруженной картой высот Ульяновской области показано на рисунке 6.

Создать область, которую необходимо загрузить с сервера. Для этого нужно нажать кнопку на панели инструментов «Create Rectangular/Square Area» (кнопка на панели инструментов показана на рисунке 7) и выделить требуемый участок.

В появившемся окне ввести название области и нажать кнопку «ОК». Нажать на данную область левой кнопкой «мыши» для выделения, затем нажать правой кнопкой «мыши» и в появившемся меню выбрать

Рис. 5. Окно выбора источника карт высот

Рис. 6. Окно с загруженной картой высот

Рис. 7. Кнопка «Create Rectangular/Square Area» на панели инструментов

«Vertex Editing->Edit Feature Vertices». Из появившегося окна необходимо сохранить в текстовый документ координаты точки № 1 (левый верхний угол) и точки № 3 (правый нижний угол) – для дальнейшей выгрузки текстуры покрытия из SAS.Planet Release 160707. Закрывать окно и выбрать в меню «File->Export->Export Elevation Grid Format...». В появившемся окне выбрать формат «Float/Grid File». В появившемся окне во вкладке «Float/Grid Options» установить значения X-axis и Y-axis равными 0,000277777778 arc degrees, что соответствует 1 arc second (разрешение сетки высот данного источника), во вкладке «Export Bounds» выбрать «Crop to Selected Area Feature(s)» (выбранную область) и нажать кнопку «ОК». В появившемся окне указать имя файла и путь, куда необходимо сохранить сетку высот.

Закрывать программу Global Mapper 17 и перейти к SAS.Planet Release 160707. Для загрузки карты покрытия необходимо выполнить команду меню «Операции->Операции с выделенной областью->По координатам». В появившемся окне ввести ранее сохраненные координаты левого верхнего и нижнего правого углов и нажать кнопку «Применить». В появившемся окне во вкладке «Загрузить» выбираем масштаб. Для более детальной карты покрытия рекомендуется выбирать масштаб от Z17 до Z20. Нажать кнопку «Загрузить».

По окончании загрузки нажать кнопку «Выход» и повторно выполнить команду меню «Операции->Операции с выделенной областью->По координатам». В появившемся окне выбрать вкладку «Склеить». Настроить

параметры карты: результирующий формат, масштаб, путь для сохранения и нажать кнопку «Начать». Пример окна настройки показан на рисунке 8.

Закрывать программу SAS.Planet Release 160707. Ландшафт подготовлен. Пример кадра рендеринга данного участка (площадь участка 42600х20280 м, размер сетки карты высот 1420х676 точек, размер текстуры 36765х30006 точек) карты в ПО «Визуализация закабинной обстановки» комплексного стенда, производства АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» показан на рисунке 9.

Рис. 8. Окно настройки параметров карты покрытия

Рис. 9. Пример кадра рендеринга участка карты в ПО «Визуализация закабинной обстановки»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная методика подготовки больших трехмерных ландшафтов использует бесплатные источники спутниковой информации. Она используется, в частности, для подготовки ландшафтов для системы визуализации комплексного полунатурного стенда для проверки и отладки КБО вертолета в АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения». Разрешение сетки высот 1 угловая секунда, что позволяет в полном объеме выполнить поставленные задачи к системе визуализации закабинной обстановки. Перспективными в данной тематике являются следующие задачи:

- разработка методики полной автоматизации подготовки карт без дополнительных инструментов (on-line загрузки);
- анализ топографических карт в части определения лесных массивов и водных поверхностей;
- разработка алгоритмов модификации фототекстуры подстилающей поверхности с учетом времени года;
- исследование методов загрузки объектов инфраструктуры (домов, аэропортов и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективный облик и технологии разработки комплексов бортового оборудования воздушных судов / Е.А. Федосов, Г.А. Чуянов, В.В. Косьянчук, Н.И. Сельвесюк // Полёт. – 2013. – Вып. 8. – С. 41–52.
2. Макаров Н.Н. Системы обеспечения безопасности функционирования бортового эргатического комплекса: теория, проектирование, применение / под ред. доктора техн. наук В.М. Солдаткина. – М. : Машиностроение, 2009. – 760 с.
3. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы : Курс лекций / под. ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ульяновск : УлГТУ, 2004. – 504 с.
4. Назаров С.В. Программно-аппаратное моделирование бортовых авиационных комплексов вертолета // Вузовская наука в современных условиях : сб. матер. 49-й науч.-техн. конф., 26–31 января 2015 года. В 3 ч. – Ульяновск : УлГТУ, 2015. – Ч. 2. – 283 с.
5. Архитектура стенда полунатурного моделирования комплексов бортового оборудования вертолетов / С.В. Назаров, С.К. Киселев, Н.Н. Макаров, О.И. Кузнецов, М.Ю. Сорокин // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 19, № 1 (2). – С. 357–363.
6. Шишкин В.В., Черкашин С.В. Автоматизация проектирования диагностического обеспечения и диагностирования авиационных бортовых информационных систем. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 174 с.
7. Назаров С.В. Требования к программному обеспечению полунатурного стенда // Информатика и вычислительная техника : сб. науч. тр. 6-й Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2014 / под общ. ред. В.Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 502 с.
8. Грег Снук. Создание 3D-ландшафтов в реальном времени с использованием C++ и DirectX 9 : пер. с англ. – М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2007. – 368 с.

REFERENCES

1. Fedosov E.A., Chuianov G.A., Kosianchuk V.V., Selvesiuk N.I. Perspektivnyi oblik i tekhnologii razrabotki kompleksov bortovogo oborudovaniia vozdukhnykh sudov [Future Image of Technology and the Development of the Aircraft Onboard Equipment]. *Polet* [Flight], 2013, iss. 8, pp. 41–52.
2. Makarov N.N. *Sistemy obespecheniia bezopasnosti funktsionirovaniia bortovogo ergaticheskogo kompleksa: teoriia, proektirovanie, primenenie. Pod red. doktora tekhn. nauk V.M. Soldatkina* [Theory, Development, and Application. Edited by PhD V.M. Soldatkin]. Moscow, Mashinostroenie, Polet Publ., 2009. 760 p.
3. Kucheriavyi A.A. *Bortovye informatsionnye sistemy. Kurs lektsii*. Pod. red. V.A. Mishina i G.I. Klueva, 2-e izd., pererab. i dop [Onboard Information Systems. Course of Lectures. Edited by V.A. Mishin and G.I. Kluev. the 2nd edition revised and enlarged]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2004. 504 p.
4. Nazarov S.V. Programmno-apparatnoe modelirovanie bortovykh aviatsionnykh kompleksov vertoleta [Hil-Simulation of Helicopters Onboard Avionics]. *Vuzovskaya nauka v sovremennykh usloviakh. Sb. mater. 49-i nauch.-tekhn. konf., 26–31 ianvaria 2015 goda. V 3 ch.* [Academic Science under Modern Conditions. Proc. of 49th Sci. Conf., Jan., 2015. 3 volumes]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2015, Part 2, 283 p.
5. Nazarov S.V., Kiselev S.K., Makarov N.N., Kuznetsov O.I., Sorokin M.Iu. Arkhitektura stenda polunaturnogo modelirovaniia kompleksov bortovogo oborudovaniia vertoletov [Architecture of the Hil-Simulation Stand for Modeling Complexes of Helicopters Onboard Avionics]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2017, vol. 19, no. 1 (2), pp. 357–363.
6. Shishkin V.V., Cherkashin S.V. *Avtomatizatsiia proektirovaniia diagnosticheskogo obespecheniia i diagnostirovaniia aviatsionnykh bortovykh informatsionnykh sistem* [Automation of the Diagnostic Facilities Design of Onboard Air Information Systems]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2010. 174 p.
7. Nazarov S.V. Trebovaniia k programmnomu obespecheniiu polunaturnogo stenda [Requirements to the Software for the Hil-Simulation Stand]. *Informatika i vychislitelnaia tekhnika. Sb. nauch. tr. 6-i Vseros. nauch.-tekhn. konf. aspirantov, studentov i molodykh uchenykh IVT-2014. Pod obshch. red. V.N. Negody* [Proc. of the 6th Russian Sci. Tech. Conf. for Postgraduates, Students, and Young Scientists, IVT-2014. Informatics and Computers]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2014, 502 p.
8. Greg Snuk. *Sozdanie 3D-landshaftov v realnom vremeni s ispolzovaniem C++ i DirectX 9. Per. s angl.* [Real-Time 3D Terrain Engines Using C++ and DirectX 9. Translated from Engl.]. Moscow, Kudits-Obraz Publ., 2007. 368 p.