УДК 004.4 URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/icec/inf_tech/1131.html

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНОГО МОДУЛЯ В СРЕДЕ SIMINTECH

Т.А. Устинов ustinovta@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

В работе исследовано полунатурное моделирование технических систем в среде SimInTech на примере взаимодействия с инерциальным модулем (ИМ). Рассмотрены его входные и выходные параметры, включающие в себя как показания датчиков прибора, состоящие из угловых скоростей и линейных ускорений, так и вычисленные на их основе местоположение, углы ориентации в пространстве, скорости движения модуля. Определен способ подключения ИМ к персональному компьютеру, составлена схема моделирования для снятия данных, а также для задания параметров начальной выставки. На основе полученных от прибора углов ориентации создана трехмерная визуализация в пространстве, работающая в реальном времени.

Ключевые слова: SimInTech, 3D-визуализация, инерциальный модуль, бесплатформенная инерциальная навигационная система, полунатурное моделирование, ориентация

Введение. Одним из ключевых этапов разработки современных систем управления является полунатурное моделирование, которое сочетает математическое моделирование с испытаниями реального оборудования в контролируемых условиях [1]. Подходящим вариантом для организации такого моделирования служит программа SimInTech (Simulation In Technic) — среда разработки математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления и автоматической генерации кода для контроллеров управления и графических дисплеев [2]. В данной работе эта среда использована для визуализации показаний ориентации инерциального модуля (ИМ) в реальном времени, для этого в ней имеются библиотеки, позволяющие осуществлять обмен данными и 3D-визуализацию.

Описание модуля. Инерциальный модуль является бесплатформенной инерциальной навигационной системой (БИНС). На его борту установлены датчики для измерения трех угловых скоростей и трех линейных ускорений по осям прибора, эти величины непрерывно передаются в канал обмена данными. После осуществления процедуры выставки ИМ предоставляет вычисленные параметры собственного местоположения, ориентации и линейной скорости движения. Параметры для выставки передаются в него из внешних источников, в рассматриваемом случае они будут задаваться вручную с ком-

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026 ISSN 2541-8009

пьютера. Основные параметры, принимаемые и передаваемые ИМ, перечислены ниже.

Параметры, доступные от модуля в любой момент:

A_x — ускорение по оси x;

A_y — ускорение по оси y;

A_z — ускорение по оси z;

W_x — угловая скорость вокруг оси x;

W_y — угловая скорость вокруг оси y;

W_z — угловая скорость вокруг оси z.

Параметры, передаваемые модулю для осуществления выставки:

– широта места стоянки;

– долгота места стоянки;

– высота места стоянки;

– юстировочный угол тангажа;

– юстировочный угол крена;

– юстировочный угол курса;

– начальная скорость по оси x;

– начальная скорость по оси y;

– начальная скорость по оси z.

Параметры, получаемые от модуля после выставки:

– широта;

– долгота;

– высота;

– угол тангажа;

– угол крена;

– угол курса;

– скорость по оси x;

– скорость по оси y;

– скорость по оси z.

Помимо указанных величин ИМ также передает следующую информацию: температуру внутренних датчиков; атмосферное давление; время работы прибора; время в режиме навигации (время после проведения выставки); сообщения, характеризующие достоверность данных; ошибки навигации; информационные слова, необходимые для выполнения различных действий (например, для передачи команды о начале выставки).

Подключение модуля к компьютеру. Инерциальный модуль имеет на своем борту последовательный асинхронный интерфейс RS-485 [3], предназначенный для связи с другими устройствами. Используется полудуплексный режим, т. е. два провода, соответствующие неинвертирующей и инверти-

 © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026

рующей линиям для передачи сигнала (*A* и *B* на рис. 1) [4]. Для связи с компьютером по данному интерфейсу необходим специальный модуль-конвертер RS-485-USB, благодаря которому к устройству можно подключиться через последовательный COM-порт [5]. Для работы ИМ необходимо внешнее электрическое питание, для этого применяют лабораторный блок питания с номинальным напряжением +27 В. С помощью схемы подключения, показанной на рис. 1, операционная система персонального компьютера (ПК) может распознать ИМ как внешнее устройство и обмениваться с ним данными по последовательному интерфейсу.

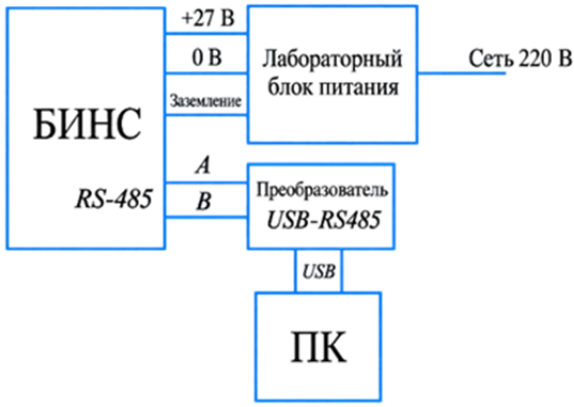


Рис. 1. Схема подключения инерциального модуля к ПК

Организация обмена сообщений. Отправка и получение пакетов данных в проекте по COM-порту в среде SimInTech осуществляются с помощью специального блока «RS — Произвольный пакет» из библиотеки «Обмен данными» [6]. Дальнейшая обработка пришедших сообщений и формирование отправляемых сообщений выполняют другие блоки внутри субмодели (рис. 2). Каждое сообщение состоит из определенного количества байт, включающих: маркер начала, адрес назначения, длину поля с данными в байтах, поле с данными, контрольную сумму CRC-16.

Блок «Обработчик пришедших байт», написанный на языке программирования SimInTech, ведет прием входящих сообщений. Один из его потоков записывает пришедшие в блок байты в циклический буфер. Другой поток ищет в этих данных заданную структуру, начинающуюся с маркера и заканчивающуюся верной контрольной суммой. Если проверка целостности кон-

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026 ISSN 2541-8009

трольной суммы пройдена, то полученные сообщения выводятся в виде массива байт поля данных на один из выходов блока в зависимости от идентификатора пакета. Пакеты с идентификатором 0×0322 попадают на блок «Парсер», который интерпретирует полученные байты как вещественные числа, соответствующие конкретным величинам. Результат работы этого блока поступает на выход субмодели. Пакет с идентификатором 0×0321 несет в себе информацию о том, что модуль успешно получил данные для выставки, при его обнаружении прекращается выдача данных в ИМ.

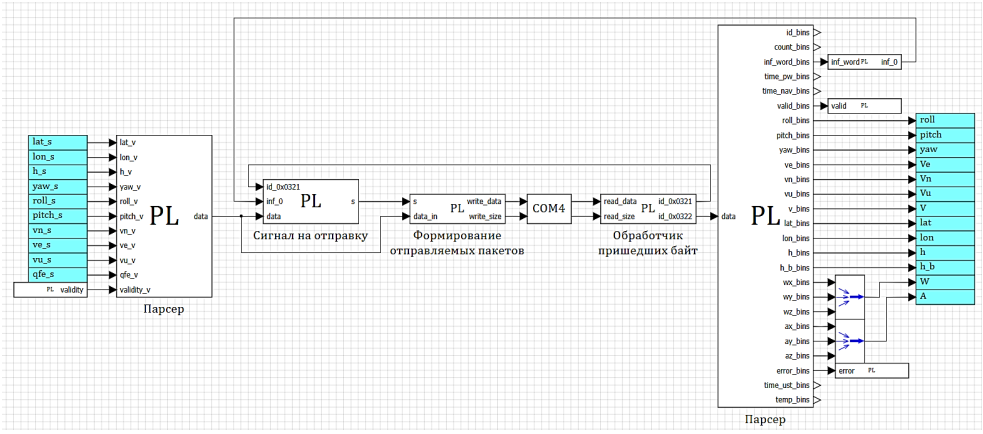


Рис. 2. Субмодель блока обмена данными с БИНС в среде SimInTech

Блок «Формирование отправляемых пакетов» формирует заданную структуру сообщения перед отправкой, принимая на вход массив байт, являющийся результатом работы еще одного блока «Парсер», но уже выполняющего преобразование вещественных сигналов в соответствующую последовательность байт. Входные сигналы этого блока служат входом субмодели и предназначены для осуществления начальной выставки ИМ. При наличии сигнала «s» происходит отправка сформированного пакета на инерциальный модуль. Сигнал «s» задается блоком «Формирование сигнала на отправку» и передается при успешном включении ИМ (что отражается в поле inf_word), пока им не будут получены все необходимые для начальной выставки параметры.

В итоге созданная субмодель реализует обмен данными с БИНС, а также позволяет осуществить его выставку, поскольку система выполняет ее самостоятельно при получении сообщения с необходимыми начальными параметрами. Разместив блок субмодели в одном из проектов SimInTech вместе

с блоками «Вход алгоритма» и «Выход алгоритма», можно организовать чтение и запись необходимых параметров в базу данных сигналов [7]. Благодаря этому возможен обмен сигналами между проектами [8]. Схема разработанного проекта представлена на рис. 3.

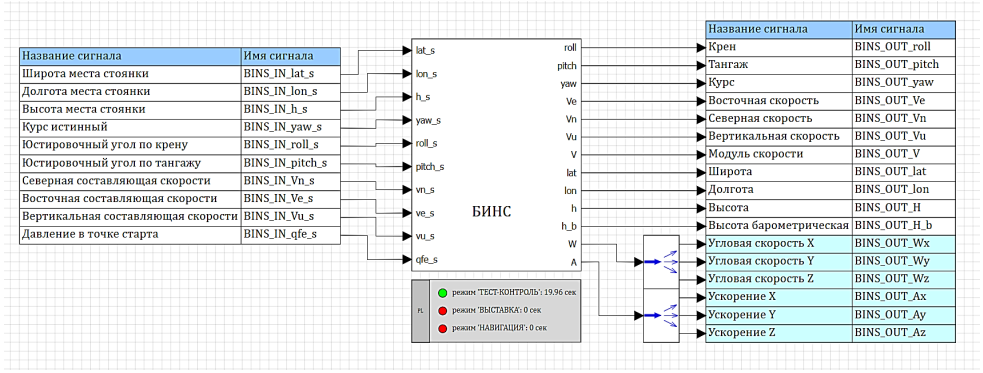


Рис. 3. Проект для чтения и записи сигналов в базу данных в среде SimInTech

Визуализация. Визуализация углов ориентации реализована как отдельный скрипт на языке программирования SimInTech с использованием встроенного модуля 3D-визуализации, предназначенного для динамического рендеринга объектов в трехмерном пространстве SimInTech [9]. Для синхронизации проекта с этим скриптом и проекта обмена с БИНС их необходимо объединить в пакет проектов, что обеспечит для них доступ к общей базе данных сигналов [10].

Для графического отображения ориентации используется параллелепипед, имеющий геометрические пропорции ИМ и вращающийся вокруг центральной точки пространства. Ориентация 3D-объекта при создании анимации в SimInTech задается с помощью углов Эйлера, поэтому необходимо перевести в них самолетные углы, получаемые с инерциального модуля. Для этого используется встроенная в язык программирования функция ypr2eul. Окно программы со скриптом на языке SimInTech, реализующей данные операции, показано на рис. 4.

Чтобы начать визуализацию, необходимо подключить БИНС к ПК, подать на него питание, запустить пакет проектов, состоящий из проекта с субмоделью для обмена данными, и скрипта визуализации. После этого с модуля начнут приходить данные об угловой скорости и линейном ускорении. Затем начнется выставка прибора, которая будет использовать заранее заложенные в базу данных сигналов значения начальных параметров, следует

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026 ISSN 2541-8009

дождаться ее окончания. По завершении ПК с установленной средой SimInTech начнет получать углы ориентации инерциального модуля и положение параллелепипеда на экране начнет меняться в соответствии с текущей ориентацией ИМ в пространстве (рис. 5).

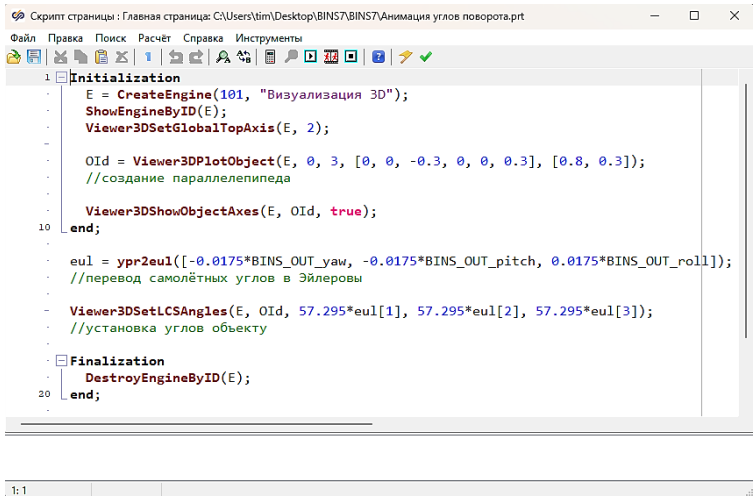


Рис. 4. Окно со скриптом на языке SimInTech для визуализации

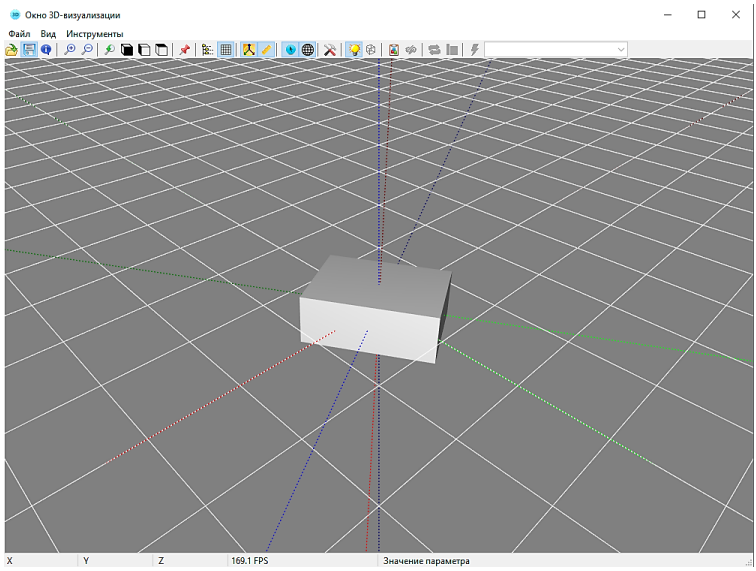


Рис. 5. Окно 3D-визуализации в среде SimInTech

 © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026

Заключение. В результате работы реализовано взаимодействие ИМ со средой динамического моделирования SimInTech, что закладывает основу для различных сценариев полунатурного моделирования с участием данного прибора. В качестве одного из примеров моделирования создана 3D-визуализация, предназначенная для отображения углов ориентации прибора в реальном времени. Возможность 3D-визуализации координат будет рассмотрена в будущих исследованиях.

Литература

[1] Пупков К.А. *Моделирование и испытание систем автоматического управления.* Москва, РУДН, 2014, 114 с.

[2] *Среда динамического моделирования SimInTech*. SimInTech. URL: https://simintech.ru/ (дата обращения 02.03.2026).

[3] Олссон Г., Пиани Дж. *Цифровые системы автоматизации и управления*. Санкт-Петербург, Невский Диалект, 2001, 556 с.

[4] *Рекомендации по разводке сети интерфейса RS-485*. ЭнИ-ББМВ. URL: https://eni-bbmv.ru/ru/doc/statya/226-rs-485 (дата обращения 02.03.2026).

[5] *USB to RS485 Serial Converter Cable Datasheet. Version 1.4. FTDI*. URL: https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Cables/DS_USB_RS485_CABLES.pdf (accessed March 2, 2026).

[6] *RS — Произвольный пакет. Справочная система SimInTech*. URL: https://help.simintech.ru/10_biblioteki_blokov/obmen_dannymi/com_rs_proizvolnyj_paket.html (дата обращения 02.03.2026).

[7] *Работа с блоками «Вход алгоритма» и «Выход алгоритма» и переменными в базе данных. Справочная система SimInTech*. URL: https://help.simintech.ru/4_nachalo_raboty/sozdanie_kompleksnoj_modeli/elektrotekhnicheskaya_model/vvedenie_v_sredy_ECD/razrabotka_modeli_upravleniya_elektrodvigatelem/DAT_rabota_s_blokami.html (дата обращения 02.03.2026).

[8] Щекатуров А.М. *SimInTech: Методика моделирования динамики октокоптера.* Москва, ДМК Пресс, 2021, 228 с.

[9] *Модуль 3D-визуализации. Справочная система SimInTech*. URL: https://help.simintech.ru/14_vspomogatelnye_programmnye_moduli/modul_3d_vizualizacii.html (дата обращения 02.03.2026).

[10] Хабаров С.П., Шилкина М.Л. *Основы моделирования технических систем в среде SimInTech.* Санкт-Петербург, СПбГЛТУ, 2019, 130 с.

Поступила в редакцию 08.05.2026

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026 ISSN 2541-8009

Устинов Тимофей Антонович — студент кафедры «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Кулешов Александр Викторович, старший преподаватель кафедры «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:
Устинов Т.А. Визуализация показаний инерциального модуля в среде SimInTech. *Политехнический молодежный журнал*, 2026, № 5 (106). URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/icec/inf_tech/1131.html

 © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026

VISUALIZATION OF INERTIAL MODULE READINGS IN THE SIMINTECH ENVIRONMENT

T.A. Ustinov ustinovta@student.bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

This paper examines hardware-in-the-loop (HIL) simulation of technical systems within the SimInTech environment, using the interaction with an inertial module (IM) as a case study. The study considers the module's input and output parameters, including both raw sensor readings (angular velocities and linear accelerations) and the position, spatial orientation angles, and velocities calculated based on them. The method for connecting the IM to a personal computer is defined, and a simulation diagram is developed for data acquisition and for setting the initial alignment parameters. Based on the orientation angles obtained from the device, a real-time 3D visualization of the object in space has been created.

Keywords: SimInTech, 3D visualization, inertial module, strapdown inertial navigation system, hardware-in-the-loop simulation, orientation

References

[1] Pupkov K.A. *Modelirovanie i ispytanie sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Modeling and testing of automatic control systems]. Moscow, RUDN University Publ., 2014, 114 p. (In Russ.).

[2] *Sreda dinamicheskogo modelirovaniya SimInTech* [SimInTech dynamic modeling environment]. SimInTech. Available at: https://simintech.ru/ (accessed March 2, 2026). (In Russ.).

[3] Olsson G., Piani G. *Tsifrovye sistemy avtomatizatsii i upravleniya* [Digital automation and control systems]. Saint Petersburg, Nevskiy Dialekt Publ., 2001, 556 p. (In Russ.).

[4] *Rekomendatsii po razvodke seti interfeysa RS-485* [Recommendations for RS-485 interface network wiring]. EnI-BBMV. Available at: https://eni-bbmv.ru/ru/doc/statya/226-rs-485 (accessed March 2, 2026). (In Russ.).

[5] *USB to RS485 Serial Converter Cable Datasheet. Version 1.4. FTDI*. Available at: https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Cables/DS_USB_RS485_CABLES.pdf (accessed March 2, 2026).

[6] *RS — Proizvol'nyy paket. Spravochnaya sistema SimInTech* [RS — Arbitrary packet SimInTech Help System]. Available at: https://help.simintech.ru/10_biblioteki_blokov/obmen_dannymi/com_rs_proizvolnyj_paket.html (accessed March 2, 2026). (In Russ.).

[7] *Rabota s blokami "Vkhod algoritma" i "Vykhod algoritma" i peremennymi v baze dannykh. Spravochnaya sistema SimInTech* [Working with the "Algorithm In-

© BMSTU, 2026

put" and "Algorithm Output" blocks and variables in the database. SimInTech Help System]. Available at: https://help.simintech.ru/4_nachalo_raboty/sozdanie_kompleksnoj_modeli/elektrotekhnicheskaya_model/vvedenie_v_sredy_ECD/razrabotka_modeli_upravleniya_elektrodvigatelem/DAT_rabota_s_blokami.html (accessed March 2, 2026). (In Russ.).

[8] Shchekaturov A.M. *SimInTech: Metodika modelirovaniya dinamiki oktokoptera* [SimInTech: Methodology for modeling octocopter dynamics]. Moscow, DMK Press Publ., 2021, 228 p. (In Russ.).

[9] *Modul' 3D-vizualizatsii. Spravochnaya sistema SimInTech* [3D visualization module. SimInTech Help System]. Available at: https://help.simintech.ru/14_vspomogatelnye_programmnye_moduli/modul_3d_vizualizacii.html (accessed March 2, 2026). (In Russ.).

[10] Khabarov S.P., Shilkina M.L. *Osnovy modelirovaniya tekhnicheskikh sistem v srede SimInTech* [Fundamentals of modeling technical systems in the SimInTech environment]. Saint Petersburg, Saint Petersburg State Forest Technical University Publ., 2019, 130 p. (In Russ.).

Received 08.05.2026

Ustinov T.A. — Student, Department of Orientation, Stabilization and Navigation Devices and Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Kuleshov A.V., Senior Lecturer, Department of Orientation, Stabilization and Navigation Devices and Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:
Ustinov T.A. Visualization of inertial module readings in the SimInTech environment. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2026, no. 5 (106). (In Russ.). URL: https://ptsj.bmstu.ru/catalog/icec/inf_tech/1131.html

 © BMSTU, 2026