

УДК 004.415.2

А.В. Осинцев, М.Е. Комнатнов

Объектно-ориентированный анализ алгоритма управления и проектирование архитектуры программного обеспечения для климатической экранированной ТЕМ-камеры

Представлен процесс проектирования программного обеспечения (ПО) климатической экранированной ТЕМ-камеры в соответствии с объектно-ориентированным подходом. Спроектирована архитектура ПО камеры, состоящая из модулей контроля, управления и диагностики. Разработана концептуальная модель данных ТЕМ-камеры посредством Unified Model Language. Представлены UML-диаграммы прецедентов, деятельности, классов, компонентов.

Ключевые слова: моделирование, UML, архитектура ПО, программная документация.

doi: 10.21293/1818-0442-2019-22-2-83-89

Одним из инструментов разработки и описания модели программного обеспечения (ПО) является унифицированный язык моделирования UML [1, 2]. Расширяемая концепция данного языка позволяет описать модели не только в области разработки ПО, но и в области системного анализа [3], моделирования технических и экономических систем, а также их динамики (стандарт-диалект System Model Language (SysML [4])). Разрабатываемая климатическая экранированная ТЕМ-камера (КЭК) [5–10] является новым и сложным устройством, сочетающим в себе различные семейства (архитектура) вычислительных модулей: синхронизированную группу микроконтроллеров (МК) ATmega 2560 [11], микропроцессор Atmel SAMA5D44 [12], высокопроизводительный МК STM32F746 [13], графический сенсорный дисплей, распределенную систему сбора и обработки данных [14] и систему диагностики КЭК [15]. Таким образом, при проектировании модели и архитектуры ПО КЭК следует учитывать множество факторов, включая аппаратные и программные ограничения.

Цель работы – выполнить анализ и разработать архитектуру ПО посредством унифицированного языка моделирования UML для КЭК.

Задачей является выявить детали работы каждого объекта в устройстве КЭК и выполнить их функциональную декомпозицию, при помощи которой возможно выделить внутренние компоненты, ограничения и требования к разрабатываемому ПО КЭК.

Диаграмма прецедентов

Выполнен анализ в области электромагнитной совместимости (ЭМС) на начальном этапе проектирования архитектуры ПО, который позволяет классифицировать и формализовать сведения обо всех аспектах, определяющих свойства разрабатываемой КЭК, а также способствует выявлению ошибок на раннем этапе проектирования ПО. Разработка архитектуры ПО начата с концептуальной модели, главной задачей которой являлось определить функциональные требования, отразить описание процесса функционирования и способы взаимодействия оператора с КЭК.

КЭК разрабатывается для проведения исследований и испытаний малогабаритных радиоэлектронных средств на совместные климатические и электромагнитные воздействия. Результатом исследования и испытания будут являться данные об объекте, подвергнутом совместным климатическому и электромагнитному воздействиям. Диаграмма прецедентов КЭК (рис. 1) содержит *актера (оператора)* и 6 прецедентов: *ввод данных, анализ объекта исследования, программа исследования, совместные воздействия, климатическое воздействие, электромагнитное воздействие, результат исследования.*

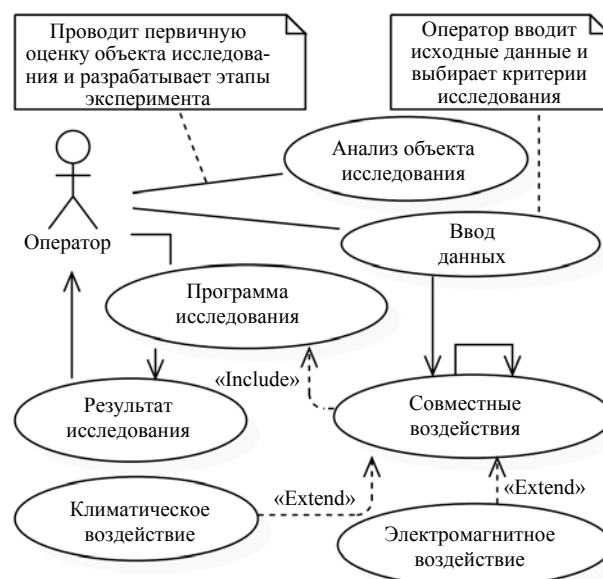


Рис. 1. UML-диаграмма прецедентов КЭК

Оператор проводит анализ исследуемого объекта, в процессе которого определяет критерии (время воздействия, диапазон частот и уровни амплитуд напряженности электрического поля, а также диапазон температур и влажности) для проведения исследования и испытания на совместные климатические и электромагнитные воздействия. Прецеденты *климатическое воздействие* и *электромагнитное воздействие* являются расширениями прецедента *совместные воздействия*, который передает данные

прецеденту *результат исследования*. Из переданных данных прецедентом *результат исследования* формируется отчет для *оператора*.

Диаграмма деятельности

Взаимодействие процессов, скрывающихся в объектах работы КЭК, а также изменение её внутреннего состояния в момент функционирования при различных сценариях выполнены при помощи обобщенной диаграммы деятельности (рис. 2). В ней отражены ключевые моменты функционирования КЭК, отсутствие которых может привести к неработоспособности. *Включение КЭК* отражает действие оператора КЭК, которое инициирует процесс *запуск и инициализация системы КЭК*. На этом этапе запускаются алгоритмы проверки, калибровки и настройки систем, обеспечивающих работу КЭК. Процесс *самодиагностика систем КЭК* выполняет набор функциональных тестов (термоэлектрических элементов Пельтье (ЭП), датчиков тока, температуры (ДТ) и т.д.) перед началом работы КЭК. В случае обнаружения аппаратных ошибок или программного сбоя в процессе теста результат поступает в блок *обработка ошибок*, для регистрации ошибки и вывода соответствующего сообщения оператору. При положительном результате управление переходит в блок *ввод данных*, в котором выставляются диапазоны влажности, температуры, времени, напряженности электрического поля и режим работы КЭК. Далее управление передается в *процесс воздействия в КЭК*. На этом этапе выполняется основная задача КЭК, происходят климатическое и/или электромагнитное воздействия на объект исследования. Все данные с датчиков и служб записываются в соответствующий файл для дальнейшей обработки. По истечении заданного времени воздействия, а также если не возникло ситуаций, повлекших преждевременный вызов процесса *остановка процесса воздействия*, выполняется процесс *завершение воздействия*. Основываясь на обработанных результатах, получается процесс *отчет*, в котором формируется итоговый результат, содержащий параметры климатического и/или электромагнитного воздействия на исследуемый объект в КЭК.

Создана расширенная диаграмма деятельности КЭК (рис. 3), которая состоит из связей трех компонентов: *Control panel*, *Master* и *Climatic control*, расположенных на разных вычислительных устройствах, процессы которых взаимодействуют между собой, выполняя определенную часть обработки информации при работе КЭК. Блоки *Master* и *Climatic control* контролируют процесс синхронизации работы группы МК, выполняющих многофазное управление электропитанием ЭП посредством сигналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Блок *Climatic control*, у которого входными данными являются команды управления от блока *Master*, предназначен для функционирования климатической подсистемы КЭК. Блок *Master* контролирует процессы опроса датчиков тока и температуры. Осно-

вываясь на данных из этих трёх блоков, ПИД-регулятор выполняет расчет управляющего сигнала для ЭП. Обратная связь в виде *показания температуры, влажности и потребляемого тока*, которые в дальнейшем необходимы для обработки и отображения в ПО оператора КЭК, поступают в компонент *сбор и обработка данных*, расположенный в блоке *Master*. При помощи блока *Control panel* происходит управление КЭК, используя сенсорный индикатор с графическим интерфейсом. Блок представлен в виде инструментов ввода/вывода данных и служебной информации. Оценка вычислительной сложности, используя известные аналитические методы, позволит оптимизировать и распределить нагрузку между вычислительными узлами аппаратного уровня, что облегчит разработку архитектуры ПО КЭК.

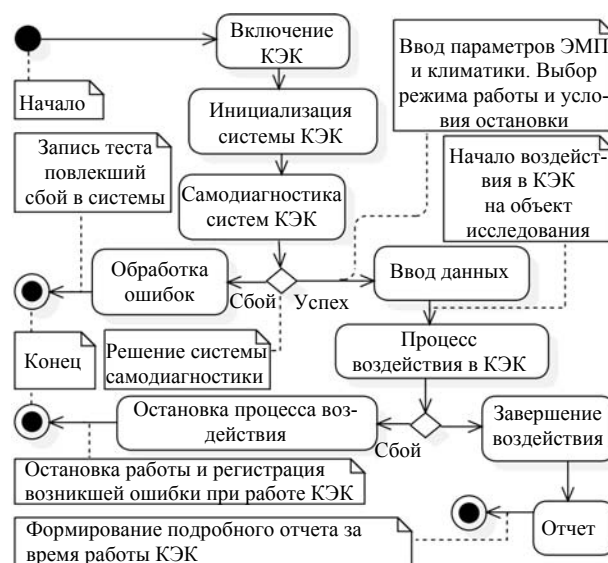


Рис. 2. Обобщенная диаграмма деятельности КЭК

Таким образом, в расширенной диаграмме деятельности возможно внесение модификаций в проектируемую архитектуру ПО КЭК, что позволит оценить вычислительную нагрузку системы для дальнейшего совершенствования аппаратной части (архитектура МК, количество портов ввода/вывода, периферия) КЭК.

Диаграмма классов

В процессе проектирования ПО КЭК построена детализированная диаграмма классов (рис. 4), отражающая периферию, основные методы и интерфейсы взаимодействия вычислительных модулей (МК и СМК). Основными классами в диаграмме являются: *Hardware*, *Slave microcontroller*, *Master microcontroller*, *Control panel*, *Control board*, *Interface*. Данные классы отвечают за выполнение определенных задач и могут обмениваться через интерфейс данными с другими классами посредством определенных функций.

Класс *Hardware* описывает аппаратную часть вычислительных модулей с периферией и является расширением для классов *Control board*, *Master microcontroller* и *Slave microcontroller*, которые насле-

дуют его атрибуты и методы с объявленным модификатором доступа *Public*. В атрибутах класса *Hardware* отражена информация о системной частоте вычислительного модуля (*SystemClock*) и количестве: программируемых выводов общего назначения (*GPIO*), выводов, поддерживающих режим работы ШИМ (*PWM*), таймеров (*Timers*), аналого-цифрового преобразователя (*ADC*) и цифроаналогового преобразователя (*DAC*), интерфейсов обмена данными (*Interface*). Методы, реализованные в классе *Hardware*, выполняют инициализацию аппаратных компонентов, перечисленных ранее в атрибутах. Также реали-

зованы методы *Get* и *Set*, посредством которых выполняется управление и чтение состояния атрибутов класса *Hardware*.

Класс *Interface* связывается отношением *композиция* с классами *Slave microcontroller*, *Master microcontroller* и *Control panel*. Таким образом, атрибуты и методы класса *Interface* доступны только во время работы связанных с ним классов и не могут существовать после удаления объекта, с которым он состоит в отношении композиции. Атрибуты класса *Interface* отражают общую информацию об интерфейсах, имеющихся в МК и СнК в составе КЭК.

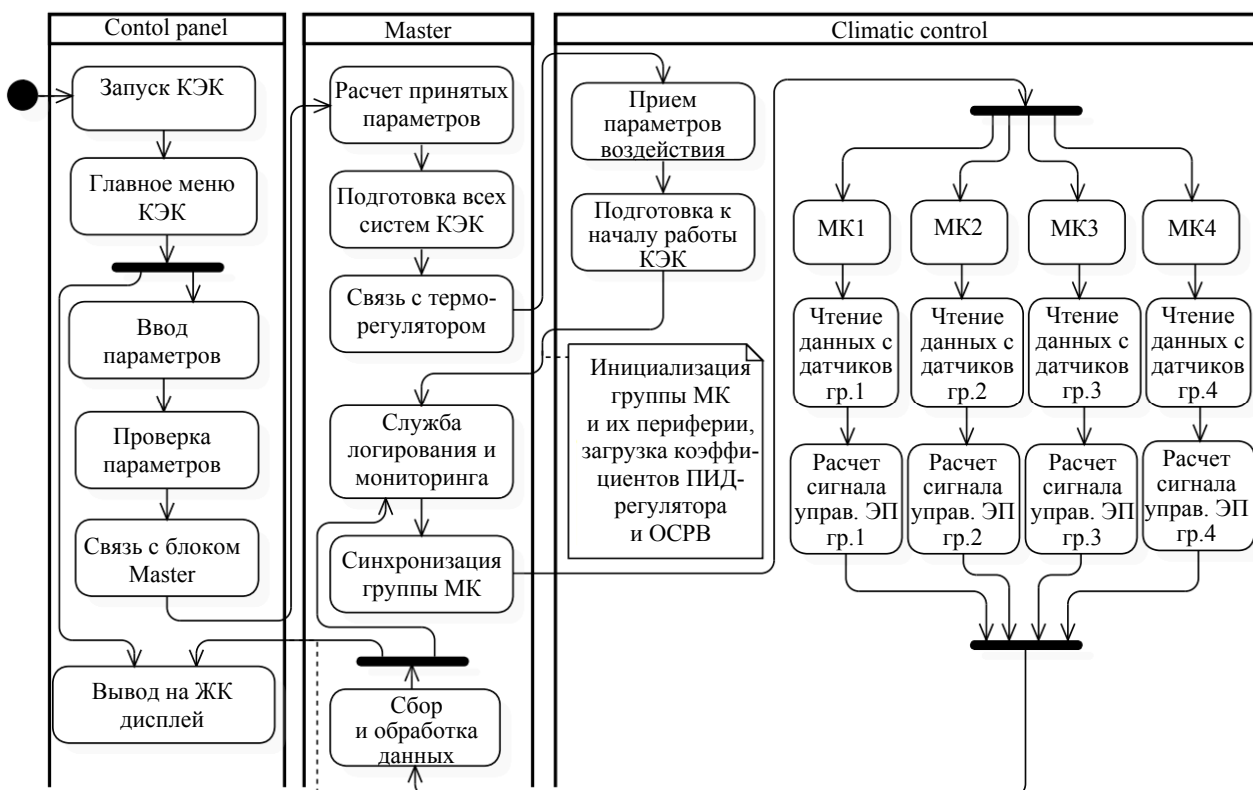


Рис. 3. Расширенная диаграмма деятельности с распределением процессов по компонентам КЭК

Обобщающим классом является *Control board*, содержащий: *Master microcontroller*, атрибуты всех МК и терморегулятора. Классы *Master microcontroller* и *Slave microcontroller* (рис. 4) связаны отношением композиции с классом *Control board*. Данный класс обладает атрибутами *Master ID*, *status* и *error flag*. Атрибут *Master ID* содержит идентификационный номер *мастера*, который будет использоваться всеми вычислительными устройствами КЭК в качестве адреса для подписи сообщений, предназначенных для класса *Master microcontroller*. Атрибут *status* служит для отображения текущего состояния устройства управления, например, в случае возникновения сбоя в этот атрибут будет помещен код ошибки *error flag*. Таким образом, система диагностики КЭК, определив изменение флага *error flag*, выполнит аварийное завершение работы КЭК и выдаст сообщение об ошибке, соответствующее атри-

буту *status*. Метод *command* предназначен для выполнения команд, принятых от класса *Master microcontroller*.

Класс *Control panel* состоит из атрибутов и методов пульта управления КЭК, образуя человеко-машинный интерфейс. В качестве интерфейса ввода/вывода используется ЖК дисплей с сенсорной панелью (*touchscreen*), на котором отображается графический интерфейс ПО. Атрибуты *Display*, *High*, *Width*, *Button*, *Widget* предназначены для графического ПО, в них содержится ширина и высота дисплея, функциональное назначение кнопок и виджеты, входящие в набор базовых компонентов Qt Creator, который применяется при проектировании графического интерфейса ПО *Control panel*. Метод *View menu* выводит главное меню на экран пульта управления КЭК. В нем реализованы элементы навигации по вкладкам и пунктам ПО пульта управления КЭК.

В диаграмме классов (см. рис. 4) для получения различной информации в процессе работы КЭК, реализованы методы, название которых начинается с префикса *Get**. Они запрашивают информацию у экземпляра класса и в качестве результата возвращают информацию (значения температуры, влажности, режим работы КЭК, параметры ШИМ-сигнала и др.) в определенном формате. Для изменения параметров КЭК реализованы методы, название которых начинается с префикса *Set**. Например, для установки диапазонов значений температуры и влаж-

ности воздуха в КЭК следует использовать методы *SetTemp()* и *SetHumidity()*. Все операции класса *Control panel*, влияющие на параметры воздействия в КЭК, передаются в экземпляр класса *Master microcontroller*, в котором изначально происходит регистрация принятых данных, а также их обработка и проверка. После того как прошла их обработка и проверка, методы класса *Master microcontroller* передают данные в терморегулятор, расположенный в классе *Control board*.

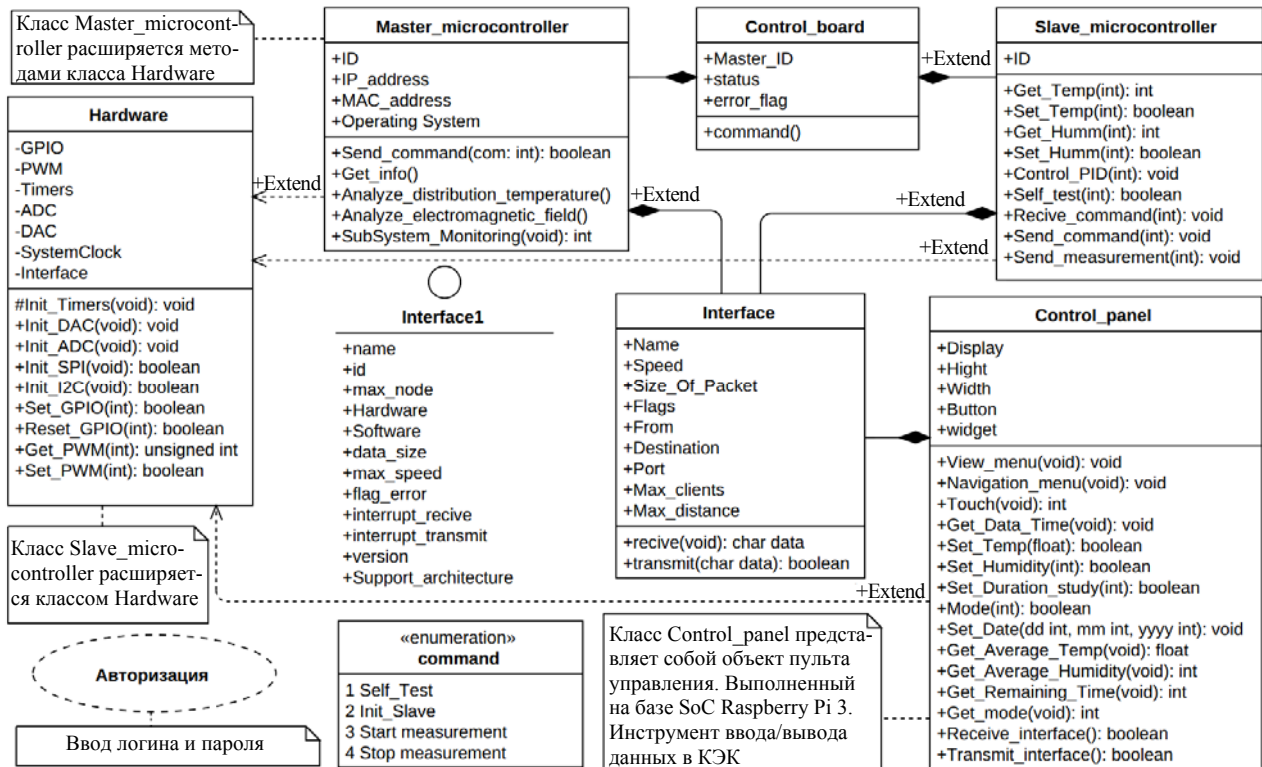


Рис. 4. Диаграмма классов в нотации UML

В процессе проектирования ПО КЭК количество диаграмм классов может достигать значительного количества, поскольку на рис. 4 представлена только основная часть ПО КЭК, в которой не учитывалось специализированное ПО оператора КЭК, а также ПО автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора для работы с КЭК на персональном компьютере.

Диаграмма компонентов

Основываясь на диаграммах прецедентов и классов, разработана диаграмма компонентов КЭК (рис. 5). Диаграмма описывает особенности физического представления системы, позволяет максимально точно определить архитектуру разрабатываемой системы, установить зависимости между программными компонентами: исходный, бинарный и исполняемый коды, внешние библиотеки, стороннее ПО, аппаратные (I²C, USART, Ethernet) и программные (API, сокет, протоколы) интерфейсы передачи данных.

Диаграмма компонентов позволяет оценить масштабы проектируемой системы, выделить ос-

новные компоненты и способы их объединения, в частности, согласовать интерфейсы между пакетами и компонентами и их зависимости. Основными узлами (*node*) диаграммы компонентов являются *персональный компьютер*, *пульт управления*, *Master* и *терморегулятор*. К узлу *персональный компьютер* относится компонент *АРМ оператора*, который включает такие элементы, как среда разработки *Qt framework* и *внешние библиотеки*, используемые в процессе разработки ПО.

В узел *пульт управления* входят компоненты *ЖК-дисплей*, *сенсорная панель*, операционная система реального времени (ОСРВ) *Free RTOS*, что в совокупности образует законченное устройство пульта управления КЭК. Аналогичным образом каждый узел представляет собой законченную часть КЭК. Из диаграммы компонентов видно, что в состав компонента *АРМ оператора* входят компоненты *внешние библиотеки* и *Qt framework*, что объясняет их отсутствие в представленных ранее UML-диаграммах.

Компонент *OC Linux Yocto* представляет собой встраиваемую операционную систему (ОС), функционирующую в СнК. В состав ОС входят компоненты *Qt framework* для разработки графического приложения пульта управления КЭК. С компонентами *ЖК-дисплей* и *сенсорная панель* связь осуществляется по соответствующим интерфейсам *ITouch* и *ILCD* (см. рис. 5).

Компонент *ОСРВ группы МК* представляет собой группу МК в составе узла *терморегулятор*. Управление МК осуществляется посредством *ОСРВ*

mRTOS, который обладает интерфейсами I^2C и *PWM* для работы с датчиками тока, температуры и влажности воздуха. Управление климатической подсистемой в КЭК осуществляется компонентами *ПИД-регулятора* и *синхронизация группы МК*. В узел *терморегулятор* входит компонент *вспомогательная система*, в задачу которого входит контроль температуры (*IWire*) отсека блоков питания КЭК, управление охлаждением (*ICooler*) и управление 4 двигателями, выполняющими функцию открытия/закрытия двери КЭК (*IPWM*).

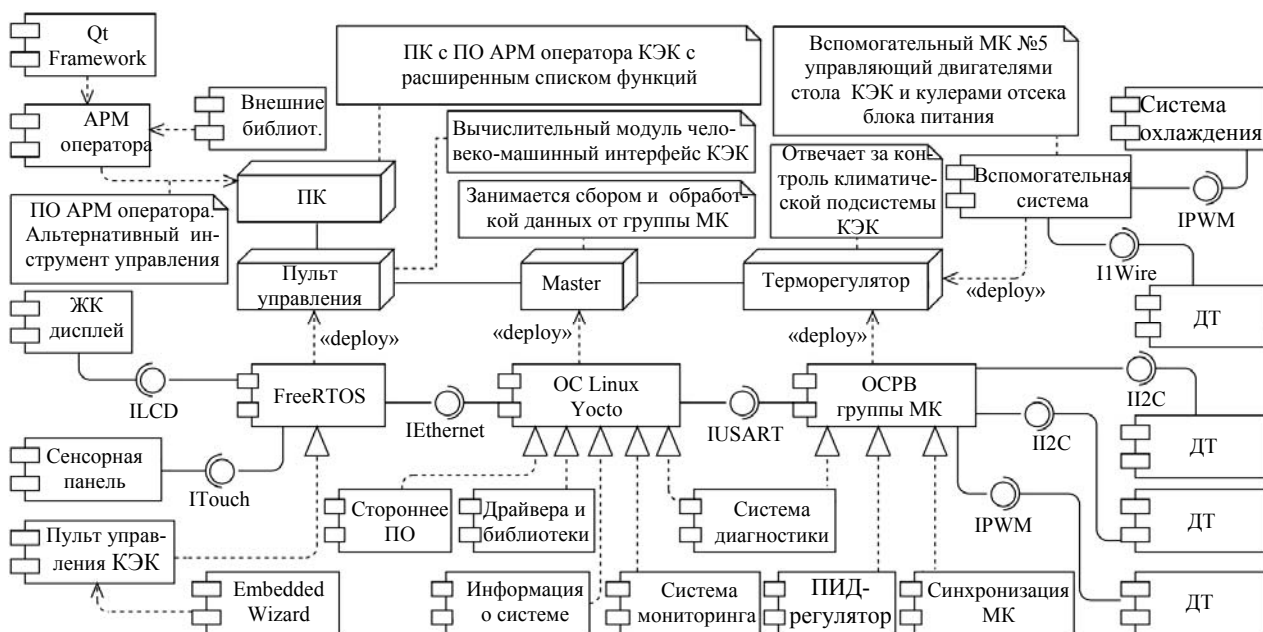


Рис. 5. UML-диаграмма компонентов КЭК

Компонент *система диагностики* выполняет проверку корректности работы элементов КЭК в фоновом режиме работы, и при обнаружении отклонения контролируемых параметров от установленной нормы система проведет анализ для классификации степени угрозы. Если отклонение незначительно и не приведет к критическому сбою работы КЭК, то системой будет исправлена ошибка. Если система распознает критическую ошибку, то она произведет запись о возникшей ошибке в файл логирования и автоматически остановит работу КЭК. Данный компонент относится к узлам *OC Linux Yocto* и *ОСРВ группы МК*, поскольку эти узлы являются наиболее критичными в работе КЭК.

Таким образом, диаграмма компонентов дает подробное представление устройства и функционирования КЭК, уточняя интерфейсы связи и зависимости компонентов. С целью облегчения процесса разработки и приведения программного кода к единому стандарту используют паттерны проектирования, которые представлены в виде шаблонного решения известной задачи. Это позволяет избежать

большинства распространенных ошибок в процессе разработки ПО.

Заключение

Проведена функциональная декомпозиция и разработана архитектура ПО КЭК согласно правилам унифицированного языка моделирования UML. Спроектированная архитектура ПО КЭК содержит UML-диаграммы прецедентов, деятельности, классов и компонентов. Каждый тип диаграммы позволяет представить систему КЭК с позиции инженера, архитектора ПО, разработчика, руководителя, менеджера проекта. Полученные диаграммы могут дополняться и изменяться в процессе разработки КЭК. Придерживаясь изложенных рекомендаций, удастся избежать наиболее распространенных ошибок (логические ошибки, ошибки совместимости, ошибки интеграции и представления данных в КЭК) в процессе проектирования модели, алгоритмов и разработки ПО КЭК. Подробное описание деталей UML-диаграмм будет использовано при составлении аппаратной и программной документации КЭК.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Rumbaugh J. UML. The unified modelling language reference manual / J. Rumbaugh, I. Jacobson, G. Booch. – 2nd Ed. – Boston, Pearson Higher Education, 2006. – 736 p.
2. Рамбо Дж. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка / Дж. Рамбо, М. Блаха. – СПб.: Питер, 2007. – 545 с.
3. Фаулер М. UML, основы: краткое руководство по стандартному языку объектного моделирования. – СПб.: Питер, Символ-Плюс, 2018. – 312 с.
4. Delligatti L. SysML distilled a brief guide to the systems modeling language. – Addison-Wesley Professional, 2014. – 304 p.
5. Пат. 2558706 РФ. Климатическая экранированная камера / М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов. – Заявка № 2014103639. Заявл.: 3.02.2014; опублик.: 08.07.15.
6. Пат. 2674878 РФ. Устройство синхронизации микроконтроллеров / А.А. Собко, А.В. Осинцев, М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов, М.П. Сухоруков. – Заявка № 2017117125. Заявл.: 16.05.2017; опублик.: 13.12.18.
7. Комнатнов М.Е. Камера для совместных климатических и электромагнитных испытаний электронных компонентов / М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов // Техника радиосвязи. – 2014. – № 3(23). – С. 84–91.
8. Комнатнов М.Е. О совместных климатических и электромагнитных испытаниях / М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2014. – № 4. – С. 39–45.
9. Komnatnov M.E. Environmental Shielded TEM Chamber for Biomedical Testing / M.E. Komnatnov, T.R. Gazizov // Proc. of IEEE International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-Bio 2014). – 2014. – P. 64–68.
10. Osintsev A.V. Method for synchronizing a group of heterogeneous microcontrollers with time control of synchronous work / A.V. Osintsev, A.A. Sobko, M.E. Komnatnov // Proc. of IEEE 2017 International multi-conference on engineering, computer and information sciences. – Novosibirsk, 2017. – P. 305–308.
11. Техническая документация на Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V // Microchip Technology – 2014. – URL: http://www.atmel.com/images/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf (дата обращения: 05.06.2019).
12. Техническая документация на SAMA5D4 Series SAMA5D41 /42/43/44 // Microchip Technology – 2017. – URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/60001525a.pdf> (дата обращения: 01.06.2019).
13. Техническая документация на STM32F746xx // STMicroelectronics. – 2016. – URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/DM00166116.pdf> (дата обращения: 01.06.2019).
14. Осинцев А.В. Система сбора и обработки данных климатической экранированной TEM-камеры / А.В. Осинцев, А.А. Собко, М.Е. Комнатнов // Современные проблемы радиоэлектроники. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – С. 315–319.
15. Osintsev A.V. Diagnostic Service by Means of a Real-Time Operating System for Environmental Shielded TEM-chamber / A.V. Osintsev, A.A. Sobko, M.E. Komnatnov, M.P. Sukhorukov, Y.A. Shinyakov // Proc. of IEEE 2017 International multi-conference on engineering, computer and information sciences. – Novosibirsk, 2017. – P. 301–304.

Осинцев Артем Викторович

Аспирант каф. автоматизации и обработки информации (АОИ) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7-952-755-01-23
Эл. почта: kubenet@gmail.com

Комнатнов Максим Евгеньевич

Канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент каф. ТУ ТУСУРА Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
ORCID 0000-0002-6463-2889
Тел.: +7-952-888-38-96
Эл. почта: maxmek@mail.ru

Osintsev A.V., Komnatnov M.E.

Object-oriented analysis and design of the algorithm and architecture control software of environmental shielded TEM-chamber

The article presents the process of designing software environment shielded TEM-chamber in accordance with the object-oriented approach. The software architecture of the TEM-chamber, consisting of monitoring, control and diagnostics modules, was designed. A conceptual data model for the TEM-chamber was developed using the Unified Model Language. UML diagrams are presented: use cases, activities, classes, components.

Keywords: UML, software architecture, software documentation.

doi: 10.21293/1818-0442-2019-22-2-83-89

References

1. Rumbaugh J., Jacobson I., Booch G. UML. The unified modelling language reference manual. 2nd Edition. Boston, Pearson Education, 2006, 736 p.
2. Rambo J., Blaha M. UML 2.0. Ob"ektno-orientirovannoe modelirovanie i razrabotka [Object-oriented modeling and development]. Saint Petersburg, Piter, 2007, 545 p. (in Russ.).
3. Fowler M. UML. Osnovy. Kраткое rukovodstvo po standartnomu yazyku ob"ektnogo modelirovaniya [UML, basics: a brief guide to the standard object modeling language]. Saint Petersburg, Symbol Plus, 2018, 312 p. (in Russ.).
4. Delligatti L. SysML distilled a brief guide to the systems modeling language. Boston, Addison-Wesley Professional, 2013, 304 p.
5. Komnatnov M.E., Gazizov T.R. Klimaticheskaya ekranirovannaya kamera [Climatic screened camera]. Patent RF, no. 2558706, 2015 (in Russ.).
6. Sobko A.A., Osintsev A.V., Komnatnov M.E., Gazizov T.R., Sukhorukov M.P. Kamera dlya sovmestnykh klimaticheskikh i elektromagnitnykh ispytaniy elektronnykh komponentov [Microcontroller sync device]. Patent RF, no. 2674878, 2018 (in Russ.).
7. Komnatnov M.E., Gazizov T.R. O sovmestnykh klimaticheskikh i elektromagnitnykh ispytaniyakh [Chamber for joint environmental and electromagnetic testing of electronic components]. Radio communication equipment, 2014, vol 23, no. 3, pp. 84–91 (in Russ.).
8. Komnatnov M.E., Gazizov T.R. About joint climatic and electromagnetic tests. Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, no. 4, 2014, pp. 39–45 (in Russ.).
9. Komnatnov M.E., Gazizov T.R. Environmental Shielded TEM Chamber for Biomedical Testing. Proc. IEEE

International Microwave Workshop (IMWS-Bio 2014), 2014, pp. 64–68.

10. Osintsev A.V., Sobko A.A., Komnatnov M.E. Method for synchronizing a group of heterogeneous microcontrollers with time control of synchronous work. Problems of Complex Systems Optimization. Novosibirsk, 2017, pp. 305–308.

11. Microcontroller Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V. Available at: http://www.atmel.com/images/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf (Accessed: June 05, 2019).

12. Microcontroller SAMA5D4 Series SAMA5D41/42/43/44. Available at: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/60001525a.pdf> (Accessed: June 06, 2019).

13. Microcontroller STM32F746xx. Available at: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/DM00166116.pdf> (Accessed: June 06, 2019).

14. Osintsev A.V., Sobko A.A., Komnatnov M.E. Sistema sbora i obrabotki dannyh klimaticheskoy ekranirovannoj TEM-kamery [System for collecting and processing data of a climatic screened TEM camera]. Modern problems of radio electronics. Krasnoyarsk, Sib. feder. University Press, 2016, pp. 315–319 (in Russ.).

15. Osintsev A.V., Sobko A.A., Komnatnov M.E., Sukhorukov M.P., Shinyakov Y.A. Diagnostic Service by Means

of a Real-Time Operating System for Environmental Shielded TEM-chamber. Proc. of IEEE 2017 International multi-conference on engineering, computer and information sciences. Novosibirsk, 2017. pp. 301–304.

Artem V. Osintsev

Postgraduate student,
Department of Data Processing Automation,
Tomsk State University of Control Systems
and Radioelectronics (TUSUR)
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7-952-755-01-23
Email: kubenet@gmail.com

Maxim E. Komnatnov

Candidate of Engineering, Assistant Professor,
Department of Television and Control TUSUR
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
ORCID 0000-0002-6463-2889
Phone: +7-952-888-38-96
Email: maxmek@mail.ru