

MIL-ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ЗАДВИЖКОЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ СИСТЕМЫ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

Пешков Н.С.¹, Громаков Е.И.²

¹ *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, 8Т12, e-mail: nsp20@tpu.ru*

² *Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: gromakov@tpu.ru*

Аннотация

Работа посвящена исследованию применения метода Model In Loop (MIL) в проектировании контура управления приточно-вытяжной системы (ПВС). В работе представлена автоматная модель задвижки ПВС с алгоритмом управления. Рассмотрены преимущества автоматного подхода для описания событийной динамики объекта управления на этапах разработки математического обеспечения проектов АСУ ТП.

Ключевые слова: Model In The Loop, автоматная модель, ПВС, контур управления, проектирование.

Введение

В условиях современного развития технологий и роста требований к производственным процессам автоматизация становится ключевым направлением для повышения эффективности, надежности и устойчивости работы технических систем. При выполнении проектных работ широко используют модельно-ориентированное проектирование автоматизированных систем управления (АСУ), что позволяет оптимизировать управление технологическими процессами, снижать энергозатраты и обеспечивать точное выполнение заданных функций.

Одной из перспективных методологий разработки АСУ является Model In Loop (MIL). Этот метод позволяет создавать и тестировать контуры управления в виртуальной среде, что значительно упрощает процесс проектирования, снижает затраты и минимизирует ошибки на ранних этапах. Использование MIL позволяет исследовать поведение системы в различных эксплуатационных условиях, разрабатывать алгоритмы управления с учетом внешних воздействий и оценивать их работоспособность вплоть до фактического внедрения на объекте.

Актуальность настоящей работы заключается в том, что, хотя методология MIL активно применяется в таких высокотехнологичных отраслях, как автомобильная и аэрокосмическая промышленность, однако ее потенциал в области автоматизации инженерных систем раскрыт недостаточно. В работе [1] описывается применение метода MIL для автоматизации генерации программного кода для встраиваемых систем. Компания Cummins в статье [2] отмечает, что MIL позволяет проводить тестирование контроллеров двигателей в виртуальной среде моделирования, снижая зависимость от физических стендов.

Целью работы является проектирование контура управления задвижкой приточно-вытяжной системы вентиляции с применением методологии Model In The Loop.

Описание методологии Model In The Loop и выбор языка алгоритмизации

Model In The Loop – это метод проектирования и тестирования систем управления, при котором виртуальная модель управляемого объекта используется в качестве части контура управления [3]. В MIL происходит моделирование как сама система, так и её алгоритм управления. Это позволяет проверять, отлаживать и оптимизировать алгоритмы управления без необходимости использования реального оборудования на ранних этапах разработки.

MIL применяют на начальном этапе проектирования. На следующем этапе используют метод отладки программного обеспечения АСУ ТП-- Software-in-the-Loop.

Software-in-the-Loop (SIL) – это этап тестирования, при котором управляющий алгоритм, реализованный в виде программного кода, интегрируется в симуляционную среду. В отличие от Model-in-the-Loop (MIL), где алгоритм управления представлен в виде модели, в SIL используется уже сгенерированный программный код, который будет интегрирован в аппаратную среду проекта автоматизации этапов. SIL может использоваться обособленно от MIL, но это зависит от требований проекта. В основном, его выгодно использовать отдельно, если важна проверка готового кода без выполнения этапа моделирования. Однако оптимальная стратегия предполагает их последовательное использование.

Hardware-in-the-Loop (HIL) – это этап тестирования, при котором физический контроллер интегрируется с симуляционной моделью объекта управления (ОУ). Это позволяет проверить взаимодействие реального оборудования с виртуальной моделью объекта в условиях, приближенных к реальным.

HIL является дополнением метода MIL, а не его заменой, потому что HIL применяется на поздних этапах разработки, когда алгоритмы управления уже протестированы. Применение HIL обособленно от MIL возможно, но не рекомендуется, так как повышается риск пропуска ошибок, поломок оборудования, что в свою очередь повышает затраты.

Для описания событийной динамики модели задвижки приточно-вытяжной системы был выбран автоматный метод проектирования алгоритма управления в виде графа переходов. Граф переходов – это визуальная, событийно-математическая конструкция, описывающая возможные состояния системы и переходы между ними. Применение графа переходов для описания алгоритма управления известна как «SWITCH-технология» [4]. Эта технология основывается на разработке систем логического управления на базе конечных автоматов. В данной технологии используется специальная область программирования – автоматное программирование.

Выбор такого метода алгоритмизации обосновывается следующими требованиями:

1. Специалисты различных областей знаний должны однозначно и просто понимать, что должно быть сделано, что делается и что сделано в проекте.
2. Необходимо, чтобы переход от алгоритма к программам на различных языках программирования происходил формально и изоморфно, используя минимальное число внутренних переменных в программах, так как они затрудняют понимание программы.
3. Необходимо обеспечить простоту и корректность изменения разработанных алгоритмов.
4. Валидация алгоритма и программы управления должна быть прозрачной и легко проверяемой.

Цель использования графа переходов как языка алгоритмизации заключена в обеспечении быстрой проверки модели для проектов АСДУ. Быстрая валидация алгоритма управления обеспечивается за счет того, что с использованием модельной среды упрощается понимание между заказчиком, технологом, разработчиком, программистом, оператором и контроллером, то есть все основные участники проекта могут легко внести свои предложения в проектные решения. Кроме того, повышение эффективности разработки проекта обеспечивается за счет создания для различных типов управляющих вычислительных устройств и языков программирования единого подхода к формальному и изоморфному построению алгоритмов управления.

Разработка событийной модели задвижки и MIL тестирование

Началом процесса разработки событийной модели стало определение основных состояний задвижки ПВС. Стоит отметить, что в данной работе под управлением ПВС рассматривается только управление открытием и закрытием задвижки.

Были определены основные состояния задвижки: (1) открыта, (2) Закрыта, (3) Включен пускатель на закрытие, (4) Включен пускатель на открытие, (5) Промежуточное положение.

На основе выявленных состояний задвижки была разработана событийная модель в виде графа переходов (рис. 1). Данный граф был реализован в математическом программном обеспечении, поддерживающем парадигму автоматного программирования (рис. 2).

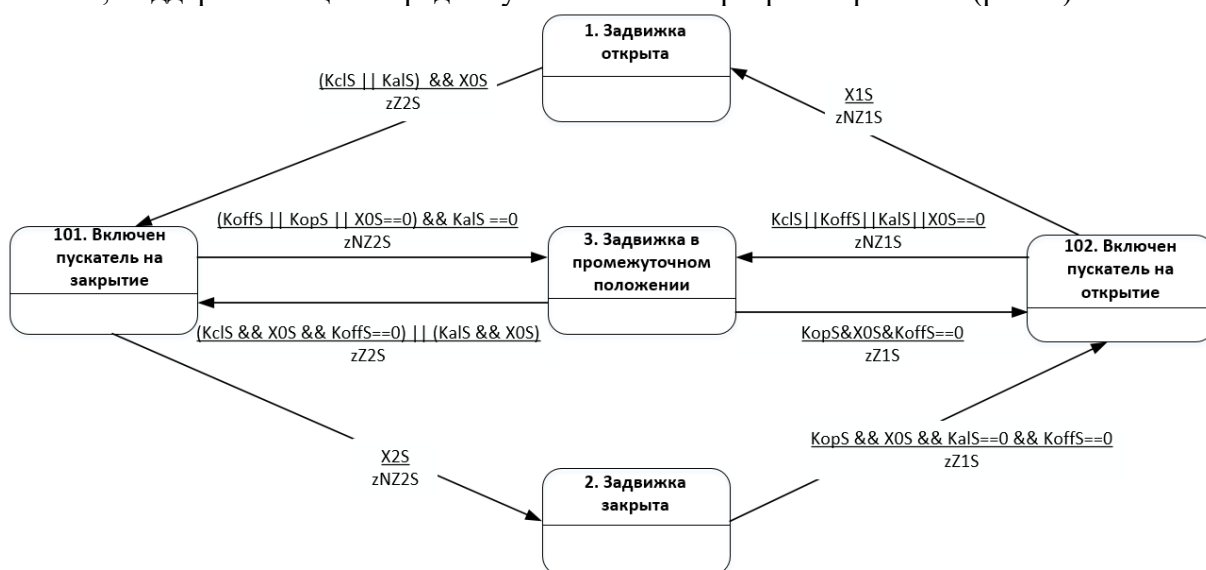


Рис. 1. Граф переходов событийно модели задвижки

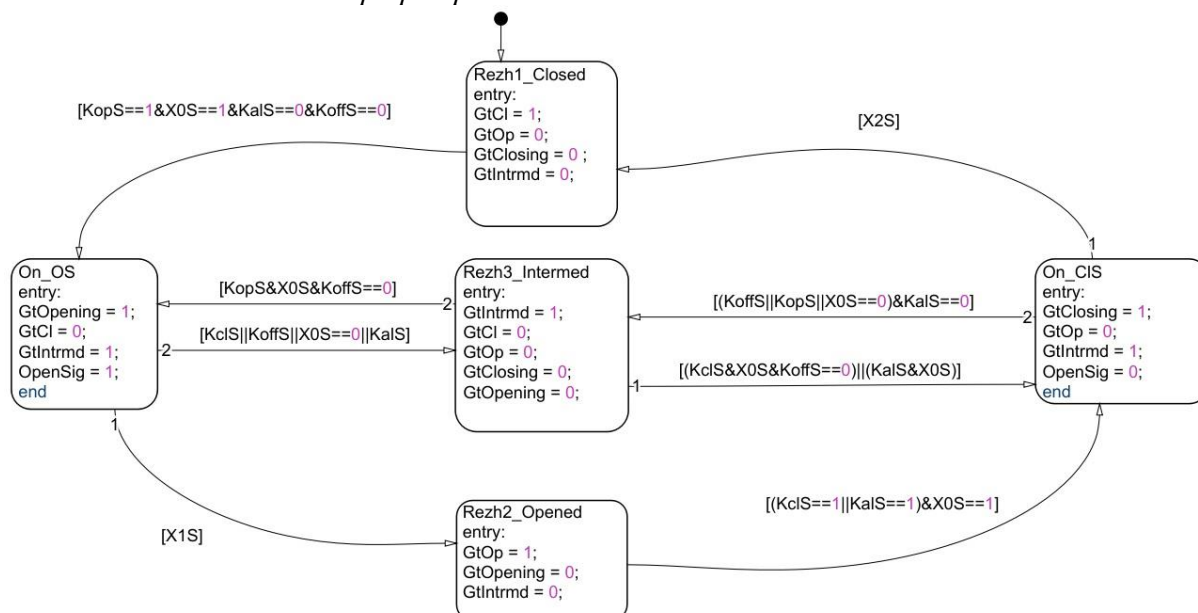


Рис. 2. Событийная модель задвижки в математическом программном обеспечении

Модель была протестирована при различных сценариях работы задвижки. Так автоматная модель сценария отработки поступления сигнала «Пожар» при открытии задвижки показана на рисунке 3. На рисунке 3,а показаны входные и выходные сигналы модели в момент времени, когда задвижка открывается по команде на открытие. При подаче питания на привод задвижки, команда на открытие включает пускатель на открытие (сигнал Gate Opening). Рисунок 3,б отражает входные и выходные сигналы модели в момент времени, когда поступает команда «Пожар». На рисунке 3,б видно, что включается пускатель на закрытие (сигнал Gate Closing) и в это же время пропадает сигнал Gate Opening, демонстрирующий включение пускателя на открытие. Рисунок 3,в показывает входные и выходные сигналы модели в следующий момент времени, когда завершается закрытие задвижки. Исходя из сигналов видно, что задвижка перешла в состояние «Закрыта» даже при ошибочной команде на открытие (сигнал Open Command).

Анализ сценариев работы задвижки ПВС с использованием автоматной модели МПЛ позволяет заключить, что алгоритм корректно обрабатывает входные сигналы и тем самым подтверждается применение его в АСУ ТП.



Рис. 3. Входные и выходные сигналы модели в случае обработки сценария появления команды «Пожар»:

а – сигналы в момент открытия задвижки

б – сигналы в момент появления команды «Пожар»

в – сигналы в момент, когда завершилось закрытие задвижки

Заключение

В работе была представлена концепция и применимость метода Model In Loop для разработки автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ). Проведенный анализ показал, что метод МПЛ эффективно подходит для проектирования и верификации автоматизированных систем, особенно на этапах подготовки приемо-сдаточного материала и разработки математического обеспечения проектов. В рамках работы был проанализирован подход автоматного программирования, предложенный А.А. Шалыто, как один из методов описания событийной динамики контуров управления. На его основе была разработана автоматная модель задвижки приточно-вытяжной системы вентиляции в программном пакете математического моделирования, которая позволяет протестировать процессы открытия и закрытия задвижки при различных сценариях эксплуатации.

Список использованных источников

1. Оськин Д.А., Громашева О.С., Дьяченко М.Е. Модельно-ориентированный подход для автоматизации генерации программного С-кода для встраиваемых систем из модели Matlab / Simulink // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 10. – С. 92-97.
2. Benefits of Model-In-The-Loop testing in the development cycle // Cummins.com: сайт. – 2024. [Электронный ресурс]. – URL: cummins.com/news/2024/03/07/benefits-model-loop-testing-development-cycle (дата обращения: 18.11.2024).
3. Кулаков А.Ю., Смирнов А.В. Технология аппаратно-программного моделирования датчиков ориентации космического аппарата на базе микроконтроллера STM32 // Труды СПИИРАН. – 2021. – №1(70). – С. 50-53.
4. Шалыто А.А. Switch-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления : С-Пб : Наука. – 1998. – 55 с.