

ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ SIMINTECH МИКРОМАШИННЫХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОБЛУЧЕНИЯ В УСТАНОВКЕ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ СКВАЖИННОЙ ЖИДКОСТИ

Карачин В.И., Кашаев Р.С., Корнилов В.Ю.

Казанский государственный энергетический университет, Казань

Ключевые слова: моделирование, измерительная схема, емкостной датчик, временная диаграмма, схема замещения.

Аннотация. Исследована возможность построения микромеханических мехатронных модулей позиционирования источников лазерного излучения в среде динамического моделирования SimInTech. На основе языка программирования среды SimInTech запрограммирован отдельный расчетный блок, что позволяет проводить сложные вычислительные операции непосредственно в модели. Подтверждена модель операционного усилителя и целесообразность использования среды для изучения модулей позиционирования источников лазерного излучения в установке экспресс-контроля структуры потоков скважинной жидкости.

DYNAMIC SIMINTECH SIMULATION OF MICROMACHINE MECHATRONIC MODULES FOR POSITIONING LASER IRRADIATION SOURCES IN THE DEVICE OF EXPRESS CONTROL OF THE STRUCTURE OF BOREHOLE FLUID FLOWS

Karachin V.I., Kashaev R.S., Kornilov V.Y.

Kazan State Power Engineering University, Kazan

Keywords: modeling, measuring circuit, capacitive sensor, time diagram, replacement circuit.

Abstract. The possibility of constructing micromechanical mechatronic modules for positioning laser radiation sources in the SimInTech dynamic modeling environment is investigated. Based on the programming language of the SimInTech environment, a separate calculation unit is programmed, which allows complex computational operations to be performed directly in the model. The model of the operational amplifier and the expediency of using the medium to study the positioning modules of laser radiation sources in the device of express control of the structure of borehole fluid flows are confirmed.

Нефтяная промышленность является одной из ключевых отраслей экономики России. В последнее десятилетие резко возросли требования к качественным характеристикам нефти и возникла необходимость в создании установки экспресс-контроля качества нефти путем позиционирования источников лазерного излучения с помощью микромеханических мехатронных модулей – принципиально новых систем сбора и передачи информации на базе роботизированных автономных комплексов [1-4].

Объектом регулирования в рассматриваемой системе является установка экспресс-контроля структуры потоков скважинной жидкости.

ГОСТ 8.615-2005 требует оперативного контроля расхода, концентрации воды, газа и плотности скважинной жидкости (ПСК) в проточном режиме (в

скважинах, в трубопроводах), погрешность измерения которых может достигать 15%. Это связано с малой репрезентативностью отбора проб скважинной жидкости, который осложнен твердыми примесями (глина, твердые частицы, ржавчина). Репрезентативный отбор проб необходим для многофазных расходомеров (МР), использование которых снижает капитальные вложения и эксплуатационные расходы нефтедобывающего оборудования [3].

Основной задачей регулятора в рассматриваемой системе является поддержание технологического параметра на заданном уровне при минимизации влияния внешних возмущающих воздействий. К системе предъявляются следующие требования: – безошибочная отработка заданного значения в установленном режиме; – время перехода – не более 500 секунд; – количество колебаний – не более одного, их амплитуда не должна превышать 5% от установленного значения.

В качестве среды разработки системы для ее анализа и оптимизации была выбрана российская среда моделирования SimInTech [2-4]. Исходная модель сложной динамики, реализованная в этом программном обеспечении, может быть упрощена. Это обеспечивает проверку основных принципов работы моделируемого объекта и системы его управления. По мере разработки проекта отдельные его части могут уточняться и дополняться, чтобы максимально точно соответствовать реальному объекту. Для создания сложной математической модели основные подсистемы (субмодели), реализованные в виде отдельных проектов, объединяются в единый пакет [5]. Для привязки проектов друг к другу используется база сигналов, представляющая собой файловую базу данных, содержащую все необходимые переменные для работы проектов. Эти переменные используются для описания модели, визуального представления процесса моделирования на видеокадрах, обмена данными с внешними модулями и т.д. В качестве языка программирования это программное обеспечение использует встроенный язык С для написания скриптов, выполняющих манипуляции с объектами схемы по мере их поступления. Схема САУ (система автоматического управления), реализованная в среде визуального моделирования SimInTech, представлена на рисунке 1. Объект управления размещен в подмодели, состоящей из типовых блоков, состав которых показан на рисунке 2.

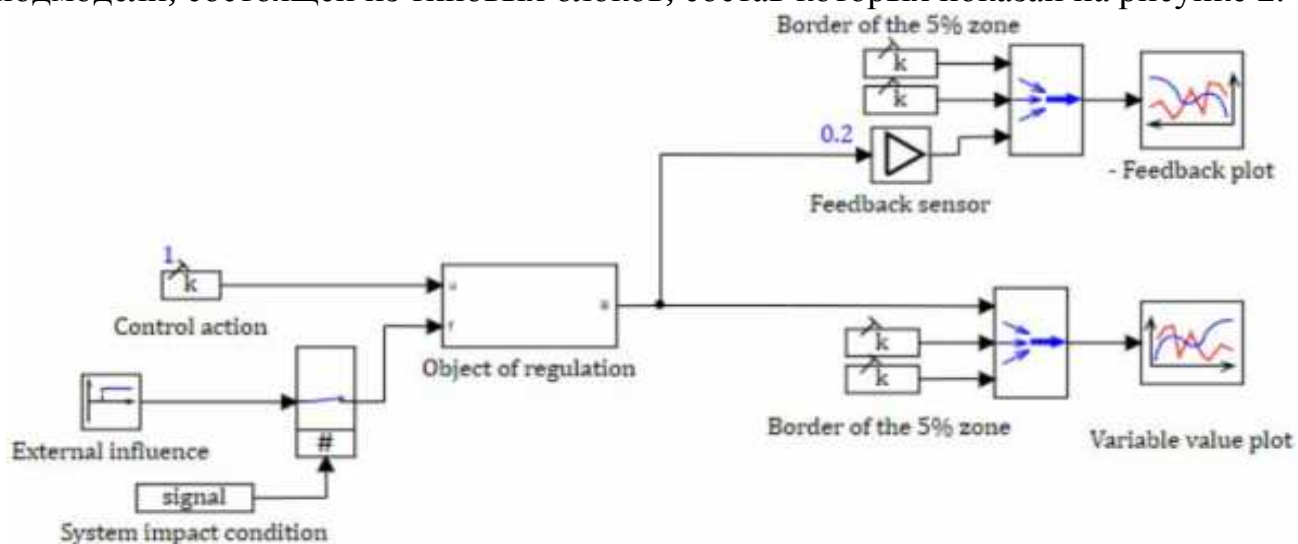


Рис. 1. Система автоматического управления в среде SimInTech

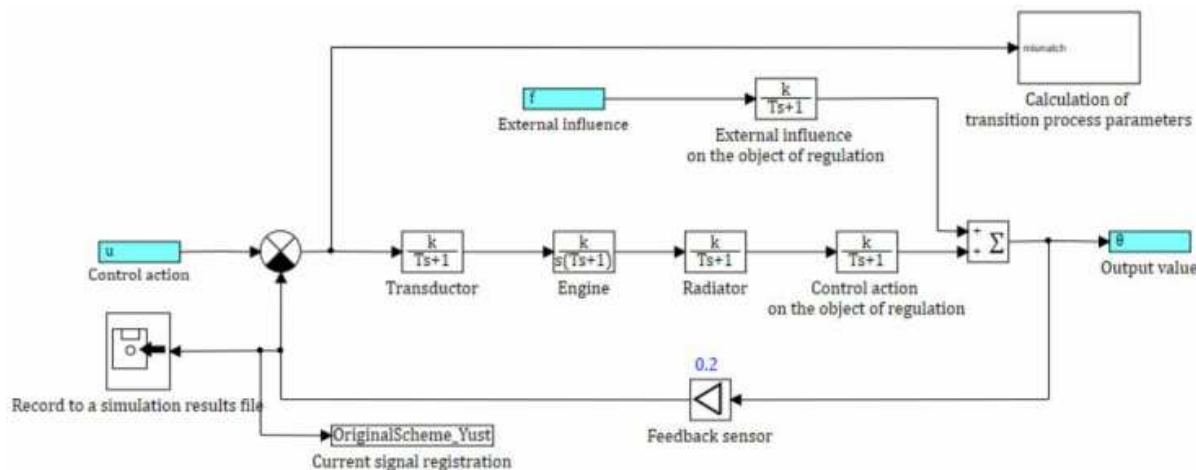


Рис. 2. Состав подструктуры «Объект управления»

В подмодели «расчет переходных параметров», представленной на рис. 3, выполняется автоматический расчет длительности цикла контроля и максимального значения контролируемого параметра: времени контроля и максимума контролируемого значения. В скрипте на основе полученных данных (установившееся значение и его максимум) вычисляется значение перерегулирования.

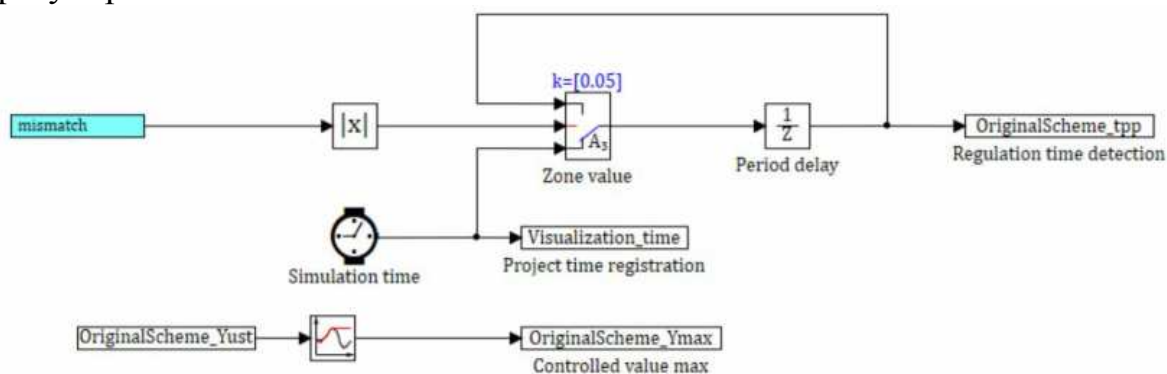


Рис. 3. Состав подструктуры «Расчет параметров переходного процесса»

Расчет контрольного времени – времени, за которое значение системы достигает нового установившегося значения, осуществляется следующим образом: на средний (логический) входной порт ключа подается модуль сигнала рассогласования (ошибка управления). Учитывая, что полное затухание процесса происходит при $t \rightarrow \infty$, длительность переходного процесса ограничивается моментом, когда контролируемая величина начинает отклоняться от установившейся менее чем на 5%.

Исходя из этого, если сигнал рассогласования превышает указанную пятипроцентную установку, на выход ключа передается текущее модельное время (сигнал с нижнего входного порта). Если управляющий сигнал меньше заданного, то на выход ключа подается тот же сигнал, но с задержкой на один шаг интегрирования (сигнал с верхнего входного порта). Таким образом, после завершения расчета переменная «определяющая контрольное время» будет содержать значение переходного времени.

В среде визуального моделирования SimInTech ПИД-регулятор представлен отдельным блоком библиотеки «Дискретный» – «Дискретный ПИД-

регулятор». При реализации схемы САУ со встроенным ПИД-регулятором модифицируется только макроблок «Объект управления».

Доступ к блоку регулятора будет осуществляться через базу сигналов: для этого в свойствах блока устройства управления напротив каждого из компонентов ПИД-регулятора указывается соответствующая переменная из базы сигналов. Значения коэффициентов регулятора изменятся автоматически, что позволит получить доступ к этому объекту из любого проекта в пакете. В динамической среде SimInTech создан специальный блок «Оптимизатор», расположенный в библиотеке «Анализ и оптимизация», который позволяет выполнять автоматизированный поиск таких значений переменных параметров САУ, при которых динамические характеристики САУ (и переходный процесс, в частности) удовлетворяют одному или нескольким условиям (критериям) «оптимальности». В качестве методов оптимизации, которые могут быть реализованы в данном блоке, используются следующие алгоритмы [3].

1) Поиск – 2: реализован алгоритм деления шага пополам для одного оптимизируемого параметра ($n = 1$) и алгоритм преобразования матрицы направлений для ($n > 1$). Далее рассмотрим алгоритм многомерного поиска.

2) Поиск – 4: реализует алгоритм квадратичной интерполяции для одного оптимизируемого параметра ($n = 1$) и алгоритм преобразования вращения и растяжения-сжатия ($n > 1$).

3) Симплексный метод: используется метод «деформируемого многогранника» Недлера и Мида, в котором функция от n независимых переменных минимизируется с использованием $(n + 1)$ вершин деформируемого многогранника. Каждая вершина может быть идентифицирована вектором x . Вершина (точка), в которой значение $f(x)$ максимально, проецируется через центр тяжести (центроид) остальных вершин. Улучшенные (меньшие) значения целевой функции находятся путем последовательной замены точки с максимальным значением $f(x)$ более «хорошими» точками до тех пор, пока не будет найден минимум $f(x)$.

Автоматическая настройка параметров ПИД-регулятора с помощью встроенных средств SimInTech имеет то преимущество, что алгоритм будет работать до тех пор, пока не произведет настройки параметров, отвечающие требуемым критериям оптимальности, или, если это невозможно, подберет такие коэффициенты регулятора, чтобы качество системы регулирования было максимально приближено к требуемому уровню. Более того, доступно несколько методов оптимизации, что позволяет выбрать лучший для проектируемой системы. Этот способ не требует непосредственного присутствия оператора, он лишь задает необходимые условия работы блока, однако процесс настройки может занять продолжительное время. При этом «Оптимизатор» в среде SimInTech может использоваться для настройки параметров устройств управления и динамических систем различного типа. Главное правильно задать критерии оптимальности и начальные приближения выходных переменных.

Автоматизированный поиск параметров ПИД-регулятора выполнялся с помощью встроенных средств среды разработки – блока «Оптимизатор», подробное описание приложения и настроек которого описано в данной работе.

Описаны преимущества и недостатки метода конфигурации, выявленные в ходе реализации проекта. Результаты моделирования САУ, а также системы с устройством управления подтверждаются временными графиками и математическими расчетами. Показатели качества процесса управления системой сравниваются по показателям: время управления, максимальное значение контролируемой величины, перерегулирование, затухание. По результатам моделирования системы оценивалась возможность использования инструментов SimInTech для определения коэффициентов устройства ПИД-регулирования. Сделаны выводы об эффективности метода: система полностью соответствует предъявляемым к нему требованиям. Возможно использование блока оптимизации параметров модели SimInTech для динамических систем разного порядка и устройств управления иного состава, чем рассматриваемое.

Список литературы

1. Карташов Б.А., Шабаев Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования: учебное пособие. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 424 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: учебное пособие: для ВУЗов. Механика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – Т. I. – 224 с.
3. Справочная система SimInTech [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://help.simintech.ru/>.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учебное пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
5. Сарваров Л.В., Сафаров М.Р. Сравнительный анализ способов вычисления параметров двухполюсников // Материалы 50-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. – С. 100.
6. Калачев Ю.Н., Александров А.Г. Преобразователи автономных источников электроэнергии. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 80 с.
7. Герман-Галкин С.Г., Карташов Б.А., Литвинов С.Н. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SimInTech. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 494 с.
8. Калачёв Ю.Н. SimInTech: моделирование в электроприводе. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 98 с.
9. Mastepanenko M.A., Gabrielyan S.Z., Mishukov S.V. Improving the algorithms for measuring sensor parameters to determine the moisture content of dry and liquid agricultural products // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020, no. 488, doi: 10.1088/1755-1315/488/1/012028.
10. Колдов А.С. Оценка погрешностей совокупных измерений параметров многоэлементных электрических цепей // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2018. – Т. 2. – С. 71-74.
11. Князьков А.В., Колдов А.С., Родионова Н.В., Светлов А.В. Совокупные измерения параметров многоэлементных электрических цепей // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 3. – С. 69-78. – doi: 10.21685/2307-5538-2018-3-9.

Сведения об авторах:

Карачин Вячеслав Игоревич – аспирант, ассистент;
Кашаев Рустем Султанхамитович – д.т.н., профессор;
Корнилов Владимир Юрьевич – д.т.н., профессор.