



УДК 004.942

© 2013 г. **В.М. Дмитриев**, д-р техн. наук,
Т.В. Ганджа, канд. техн. наук

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)

ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ SCADA-СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ*

Рассматривается принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем, позволяющих с помощью математических моделей объектов управления определять, устанавливать и поддерживать в технологическом оборудовании предприятий нефтегазовой промышленности экологически безопасные и экономически эффективные режимы функционирования с учетом накладываемых на них экологических и экономических ограничений.

Ключевые слова: технологический процесс, SCADA-система, сложный технологический объект, интеллектуальное управление, математическая модель, многоуровневая компьютерная модель.

Введение

SCADA-системы являются новейшим этапом в развитии автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) различных отраслей промышленности. Они представляют собой аппаратно-программные комплексы, осуществляющие сбор и передачу в компьютер данных первичных измерений наблюдаемых характеристик, их математическую обработку и визуализацию на экране компьютера, а также протоколирование процесса управления. SCADA-системы, являясь реализованной на компьютере программной частью АСУ ТП, обладают дружественным интерфейсом пользователя. Ими обеспечивается полнота и наглядность представляемой на экране компьютера информации, доступность «рычагов» управления, удобство пользования подсказками и справочной системой. С помощью реализованных в SCADA-системе компонентов диспетчер получает информацию на монитор компьютера и имеет возможности воздействовать на управляемые объекты. При этом от него уже требуется не только профессиональное знание технологического процесса (ТП) и основ управления, но и опыт работы в информационных системах, умение принимать решения, в том числе в нештатных и аварийных ситуациях, причем оператору приходится решать

* Исследование проведено при поддержке гранта РФФИ, проект № 11-07-00384а.

сложные задачи, анализируя множество значений измеряемых характеристик.

Современным направлением в развитии SCADA-систем является интеллектуализация процесса принятия управленческих решений. Под ней понимается его частичная или полная автоматизация, позволяющая в рамках заданных требований и ограничений определять управляющие воздействия на объект, носящие рекомендательный характер и выводимые на экран оператора SCADA-системы. Для этих целей находят широкое применение разнообразные математические модели, методы, экспертные системы с наборами продукционных моделей знаний и нейронные сети.

Особенности управления сложными технологическими объектами предприятий нефтегазовой промышленности

Современные предприятия нефтегазовой промышленности (НГД) представляют собой комплексы оборудования, осуществляющие добычу, хранение, транспорт, перекачку и переработку добываемой нефти и природного газа. Их особенностями являются распределенность объектов на достаточно больших площадях, непрерывность и однотипность ТП на большом числе объектов, связь всех объектов через потоки продукции, энергетические и информационные потоки, высокая зависимость характеристик протекающих процессов от параметров и характеристик окружающей природной среды, постоянные и вероятностные техногенные воздействия ТП на ее объекты.

Использование существующих в настоящее время средств интеллектуализации для управления физико-химическими процессами, протекающими в объектах НГП, сталкивается со значительными трудностями в силу большой размерности объекта управления, разнородности и распределенности его параметров, необходимости интерактивного изменения их значений, существенной нелинейности модели объекта, обладающего векторными потоками в связях, и запаздывания полученных результатов. К особенностям технологических процессов НГП также можно отнести разнообразие возникающих ситуаций и состояний равновесия объекта управления, неполноту контроля внешних воздействий и выходных характеристик, наличие флуктуационных и грубых помех, изменчивость целей и критериев управления, а также накладываемые экономические и экологические ограничения.

С целью интеллектуализации процесса управления сложными технологическими объектами (СТО) предприятий НГП могут быть применены методы и средства компьютерного (математического и имитационного) моделирования. Построенная на их основе компьютерная модель SCADA-системы позволит частично или полностью автоматизировать решение задач определения, установления и поддержания экологически оптимальных и экономически эффективных ТП, производить исследование вводимых в производство новаций без вывода реального оборудования из производства, риска загрязнений для объектов природной среды (ОПС) и проживающего населения. Полученные результаты моделирования будут представлять собой управляющие воздействия и другие рекомендации, приводя-

щие СТО в найденный экологически безопасный и (или) экономически эффективный режим функционирования.

Задачи компьютерных моделей в контуре управления технологическими процессами предприятий нефтегазовой промышленности

SCADA-системы представляют собой программные пакеты, предназначенные для разработки и выполнения в режиме реального времени функций сбора, обработки, отображения информации о состоянии функционирующего СТО и окружающих его ОПС. Основными задачами SCADA-систем являются: обмен данными с ОУ с помощью устройств связи с объектом; обработка информации по заданным алгоритмам; отображение информации на экране монитора в понятной для оператора форме; ведение баз данных технологической информации; аварийная сигнализация с выводом информационных и тревожных сообщений; подготовка и генерация отчетов о ходе ТП; архивирование и последующий просмотр технологической информации; обеспечение связи с внешними приложениями. Реализующие их пакеты SCADA-систем состоят из взаимосвязанных блоков:

мнемосхемы, представляющей собой набор визуальных компонентов, используемых для отображения на экране монитора текущей информации о наблюдаемых характеристиках ТП и управления значениями параметров его компонентов в режиме реального времени;

блок-диаграмм алгоритмов, представленных в виде соединенных между собой компонентов, реализующих основные операции SCADA-системы;

устройств связи с объектом управления, осуществляющих доставку в компьютер значений наблюдаемых характеристик и выполнение выработанных и одобренных оператором управляющих воздействий.

Для автоматизации управления СТО предприятий НПП, основанной на определении и установлении экономически эффективных и экологически безопасных режимов его функционирования, а также слежения за изменением данного режима, может быть использована представленная совокупностью алгебро-дифференциальных уравнений математическая модель (ММ) СТО, адекватно описывающая протекающие в нем процессы. Будучи включенной в компьютерную модель SCADA-системы она позволит частично или полностью автоматизировать решение следующих задач управления СТО предприятий НПП [1]:

мониторинга и прогнозирования характера протекающих в СТО процессов при воздействии различных факторов внешней среды и формирования необходимых управляющих воздействий на его компоненты;

отладки новых средств, методов и алгоритмов управления, а также исследования характера протекающего в объекте ТП при введении разнообразных новаций в производство без остановки функционирующих СТО и без риска возникновения загрязнений окружающей среды;

минимизации техногенных воздействий протекающих в СТО процессов на объекты природной среды с целью поддержания экологического равновесия региона, в котором функционирует предприятие;

определения экономически эффективных и экологически безопасных режи-

мов функционирования СТО и формирования программ управления реальным СТО, позволяющих перевести его в найденный экономически эффективный и экологически безопасный режим функционирования;

осуществления компьютеризированных мероприятий по обучению и переподготовке кадров, управляющих и обслуживающих СТО.

Задачи, предполагающие использование ММ СТО с моделями окружающих его ОПС и учитывающие предъявляемые в СТО требования, будут называться *задачами интеллектуального управления СТО (задачами ИУ)*. Для получения адекватных решений ММ СТО должны полностью отражать его структуру, включать его первичные параметры, обеспечивая их интерактивное изменение, и первичные переменные для целей непосредственного их измерения и анализа. Будучи полученными с использованием математических моделей результаты решения будут носить рекомендательный характер и перед применением к реальному объекту должны получить одобрение оператора SCADA-системы. Для этого они должны быть визуализированы в понятной ему форме. В этой же форме должны отображаться результаты измерения характеристик управляемого СТО. С целью адекватного решения задач ИУ и своевременного применения полученных результатов к реальному СТО его ММ должна быть встроена в применяемую для управления SCADA-систему. Полученная архитектура, выполняющая все функции SCADA-системы и включающая в себя математическую модель СТО и средства визуализации результатов измерения и моделирования, будет являться ее *компьютерной моделью*.

Структура компьютерной модели SCADA-системы с математической моделью сложного технологического объекта в контуре управления

Компьютерная модель SCADA-системы (рис. 1) с математической моделью СТО в контуре управления, как и всякая SCADA-система, должна быть сопряжена с *информационными источниками* технологических, экономических и экологических данных. Их задачей является предоставление актуальных сведений об управляемом СТО, в котором реализуется подлежащий управлению ТП, в виде технологических параметров, характеризующих используемые и получаемые вещества или являющихся значениями стоимостей применяемого оборудования и оплаты труда задействованного персонала. На основе результатов решения задач ИУ должны быть выработаны управляющие воздействия на реальный СТО, не вызывающие в нем критических и аварийных ситуаций как в установившемся, так и в переходном режиме. Это может быть осуществлено с помощью ММ СТО с подключением к ней набора продукционных моделей знаний экспертной системы.

Состояние СТО и его модели, соответствующие определенным в процессе решения задач ИУ значениям параметров, а также другая информация должны протоколироваться в технологических отчетах, автоматически формируемых с помощью соответствующих *отчетных форм*.

В основе функционирования компьютерной модели SCADA-системы с математической моделью управляемого объекта лежит *алгоритм интеллектуального управления СТО*, состоящий из следующих этапов:



Рис. 1. Архитектура компьютерной модели SCADA-системы с математической моделью в контуре управления.

1. Анализ функционирования реального СТО производится с целью выявления его компонентного состава и взаимосвязей с объектами природной среды (ОПС), определения параметров компонентов и связей между СТО и ОПС.

2. Формирование математической модели СТО (ММ СТО), отражающей его топологическую структуру. Она должна представлять собой графическую форму в виде соединенных между собой компонентов, уравнения которых составлены относительно первичных параметров и переменных связей СТО. В этом случае она будет легко модифицируемой, допускать декомпозицию на отдельные блоки и подсистемы, а также позволит определять полный вектор входящих в нее переменных.

3. Предварительная параметризация ММ СТО выполняется с целью установки значений параметров ее компонентов, при которых она адекватно описывает протекающие в реальном объекте процессы. Такие значения могут храниться в различных информационных источниках: базах данных организационно-технических и экономических показателей деятельности предприятия, экологических ГИС-системах и др. При этом допускается основанный на использовании этих данных предварительный расчет значений параметров с помощью средств компьютерной математики [2].

4. Выбор и формирование задачи интеллектуального управления осуществ-

ляется на основе текущего состояния СТО и окружающих его ОПС. Задаче ИУ ставится в соответствие целевая функция, составленная относительно варьируемых параметров модели и ее наблюдаемых характеристик. В результате минимизации целевой функции определяются такие значения вектора параметров, которые, будучи примененными к реальному СТО, позволят установить в нем желаемый оптимальный режим функционирования.

5. Параметризация компонентов математической модели СТО производится с целью установки соответствующих значений варьируемых параметров. При первом выполнении данного этапа они задаются оператором SCADA-системы. В случае итерационного решения задачи ИУ на этом этапе производится установка значений параметров ММ СТО, определенных на основе выбранного на предыдущем этапе метода оптимизации.

6. Анализ математической модели СТО выполняется на основе установленных текущих значений параметров ее компонентов по выбранному режиму с учетом заданных на этапе четырех значений его параметров. Результатом анализа будет вектор решения, представляющий собой либо статические значения переменных ММ СТО, либо их временные, частотные или параметрические характеристики.

7. Обработка результатов моделирования производится средствами компьютерной математики для получения вторичных показателей наблюдаемых переменных, называемых параметрами-функционалами. Помимо этого, на данном этапе может выполняться визуализация первичных результатов моделирования и их параметров-функционалов, заданных как в числовом виде, так и в виде зависимостей.

8. Вычисление значений целевой функции осуществляется на основе полученных значений параметров-функционалов наблюдаемых переменных ММ СТО. Ее значения совместно с вектором текущих значений переменных модели используются для принятия решений о продолжении или прекращении эксперимента и решения задачи ИУ.

9. Анализ полученного решения позволяет определить возможность применения найденных оптимальных значений параметров ММ к реальному СТО. Также выявляются необходимость и возможность продолжения эксперимента. Для этого задействуются средства интеллектуализации, представляющие собой экспертную систему (ЭС) с набором продукционных моделей знаний (ПМЗ) [3]. Работа ЭС основана на рассмотрении и переборе соответствующего набора ПМЗ, существующего в базе знаний. Она имеет открытый характер и может пополняться новыми моделями знаний, созданными сотрудниками, достаточно компетентными во всех аспектах функционирования СТО. ПМЗ позволяют, подставив значения соответствующих параметров и переменных, принять решения о необходимости и возможности применения найденных значений параметров к реальному объекту, а также о целесообразности продолжения решения выбранной задачи ИУ. В случае, если продолжение решения задачи ИУ целесообразно, производится переход к этапу 10. При достижении минимума целевой функции будут найдены значения параметров модели, которые, будучи применены к реальному объекту,

позволят установить в нем оптимальный режим функционирования. Для осуществления этого производится переход к этапу 11.

10. Определение новых значений варьируемых параметров производится согласно выбранному на этапе 4 методу оптимизации целевой функции. Шаги изменения параметров могут задаваться пользователем или определяться автоматически на основе вычисления градиента целевой функции. Полученные на этом этапе новые значения параметров передаются на этап параметризации компонентов (этап 5). Так реализуется цикл решения задач ИУ, образованный этапами 5 – 10.

11. Формирование программы управления реальным СТО выполняется на основе найденных на этапе 9 значений параметров ММ СТО, при установке которых в нем наблюдается оптимальный установившийся режим функционирования. Для этого с использованием средств компьютерного моделирования и интеллектуализации производится определение соответствующих управляющих воздействий на реальный СТО, учитывающих как статический установившийся, так и переходные режимы функционирования.

12. Применение результатов решения задачи ИУ к реальному СТО осуществляется в виде поэтапного осуществления управляющих воздействий, входящих в сформированную на предыдущем шаге программу управления.

13. Слежение за функционированием реального объекта осуществляется на основе определения значений функции расхождения между наблюдаемыми переменными реального объекта и соответствующими им результатами анализа его ММ. В случае превышения ей некоторого заданного значения производится переход к этапу 14.

14. Анализ текущего состояния реального ТСО выполняется с использованием ПМЗ, хранящихся в базе знаний средств интеллектуализации (рис. 1). При этом на экран оператора SCADA-системы должны выводиться текущие значения наблюдаемых характеристик СТО, соответствующие им результаты анализа ММ, предполагаемые причины возникновения изменения состояния СТО и связанных с ним ОПС. Также визуализации подлежат рекомендации по приведению объекта управления в нормативное, а затем в оптимальное состояние функционирования.

15. Анализ результатов решения задачи ИУ оператором и останов системы производится по текущей информации о состоянии СТО и его КМ, а также на основе найденных на этапе 13 значений расхождения между их соответствующими характеристиками. В случае применения решений оператора к реальному объекту он имеет возможность остановить работу алгоритма и перевести управление в ручной режим. Кроме того, сформировав и решив новую задачу ИУ, оператор имеет возможность установить в реальном объекте новый оптимальный режим его функционирования и осуществлять дальнейшее автоматизированное слежение до возникновения следующей внештатной ситуации, характеризующейся расхождением между соответствующими значениями наблюдаемых характеристик СТО и результатов анализа его КМ.

Наиболее удобной формой реализации предложенного алгоритма функционирования SCADA-системы, в котором должны совмещаться математические модели объекта управления, имитационные модели описанных этапов алгоритма

ИУ и визуальные модели средств отображения результатов и интерактивного управления является ее многоуровневое представление. Располагаясь на ее различных уровнях, математические, имитационные и визуальные модели взаимодействуют друг с другом на основе межуровневой передачи информации. Это позволяет реализовать модели различных уровней на соответствующих им слоях единого многослойного редактора многоуровневой компьютерной модели SCADA-системы.

Архитектура многоуровневой компьютерной модели SCADA-системы

Для построения компьютерных моделей SCADA-систем предлагается применить принцип многоуровневого моделирования, позволяющий сочетать в единой модели принадлежащие различным уровням моделирования визуальные, имитационные и математические компоненты. Под *уровнем представления модели (уровнем моделирования)* будем понимать степень абстракции, способ представления и обработки информации о моделях исследуемого (управляемого) объекта и решаемой задаче, а также о методах обработки данных и способах визуализации результатов.

Многоуровневые компьютерные модели SCADA-систем, предназначенные для реализации алгоритма интеллектуального управления СТО с учетом накладываемых на них экологических и экономических ограничений, можно представить на следующих взаимосвязанных уровнях (рис. 2):

объектном уровне (O_L), представляющем реальный объект O_R , которым является подлежащий управлению СТО, и (или) его компьютерную модель O_M . Реальный объект совместно с платами сбора данных и управляющими контроллерами образуют *реальный объектный уровень (R_O_L)* – $O_R OR_O_L$. Представление компьютерной модели СТО производится на модельном объектном уровне (M_O_L) – $O_M OM_O_L$;

логическом уровне (L_L), на котором отображается текстовое или графическое (компонентное) представление алгоритма ИУ. Его работа основана на использовании данных измерения характеристик реального СТО и анализа его математической модели. Алгоритм ИУ состоит из взаимосвязанных команд параметризации ММ СТО, алгоритма решения задачи ИУ, математических средств анализа, обработки результатов измерения и моделирования, их визуализации, а также средств управления реальным СТО и его ММ. Графическая форма данного уровня предполагает, что каждая команда алгоритма ИУ будет представлена соответствующим компонентом. Текстовое отображение позволяет представить алгоритм в виде программы, в которой каждой команде ставится в соответствие определенный терминальный символ языка интеллектуального управления;

визуальном уровне (V_L), где отображается информация о выполнении различных шагов алгоритма ИУ. Визуализации подлежат результаты измерения наблюдаемых характеристик СТО, анализа его ММ и выполнения различных шагов алгоритма ИУ. Они могут быть представлены в виде статических (не обязательно числовых) значений, временных, частотных и параметрических характеристик

первичных результатов измерения и моделирования, а также результатов их обработки, основанной на вычислении математических выражений и логических конструкций. Визуальный уровень содержит средства интерактивного управления значениями варьируемых параметров реального СТО и его КМ, а также ходом алгоритма интеллектуального управления.

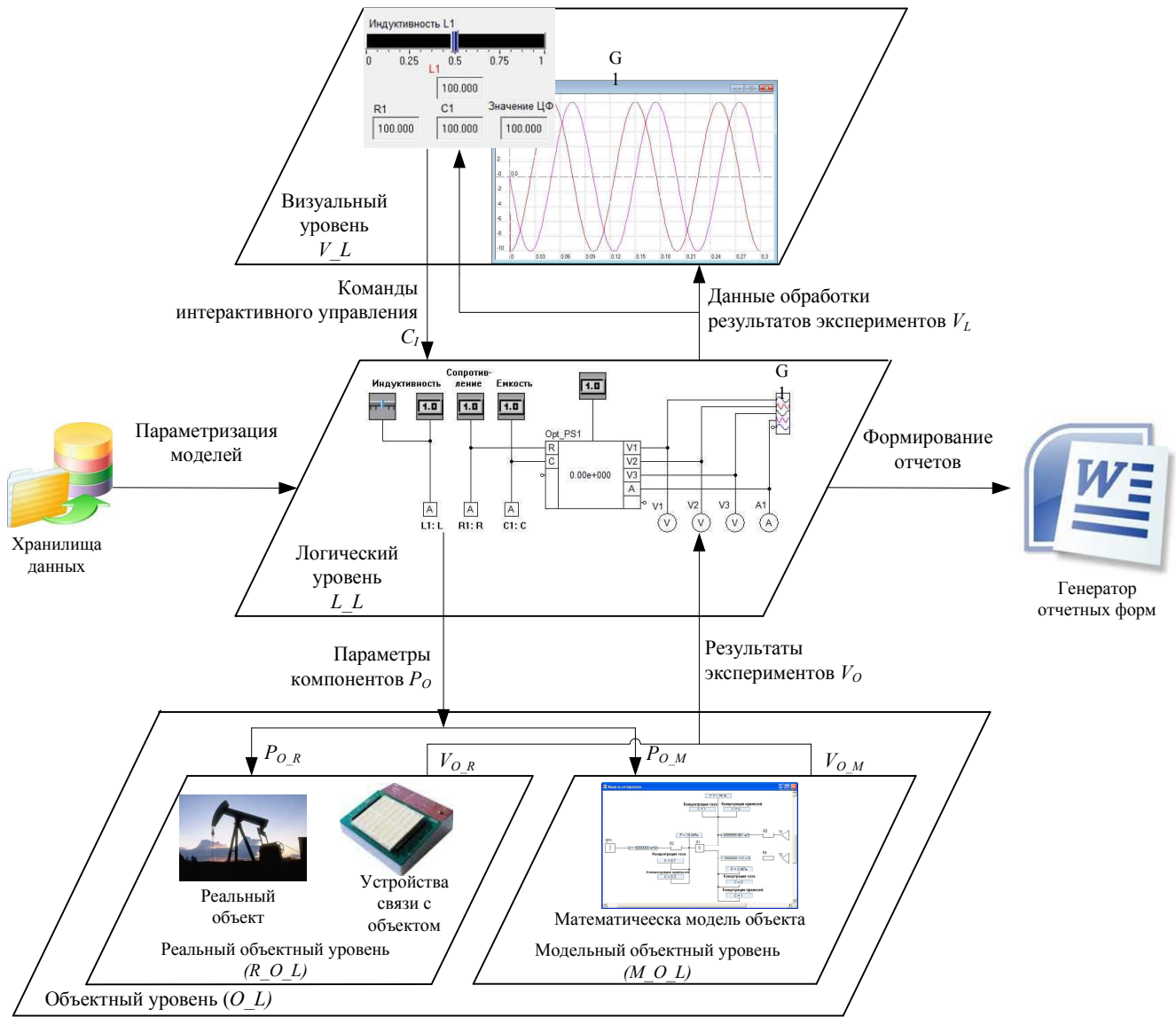


Рис. 2. Структура многоуровневой компьютерной модели SCADA-системы.

С целью первичной параметризации ММ СТО значения параметров могут задаваться пользователем в специальных интерфейсных окнах либо быть взятыми из внешних информационных источников, называемых хранилищами данных (рис. 2).

Средства подключения к ним являются компонентами логического уровня моделирования. Помимо этого, параметры реального СТО $P_{O_R}^0$ и его компьютерной модели $P_{O_M}^0$, образующие вектор начальных значений параметров компонентов $P_O^0 = [P_{O_R}^0, P_{O_M}^0]$, могут быть рассчитаны с помощью средств компью-

терной математики. Далее он передается с логического уровня на объектный $P_O^0 : L_L \rightarrow O_L$. После установки значений соответствующих параметров ММ может быть использована для анализа протекающих в СТО процессов, формирования и решения задачи ИУ, а также слежения за работой реального СТО.

Результаты измерения наблюдаемых характеристик V_{O_R} реального СТО O_R и (или) анализа V_{O_M} его модели O_M образуют вектор результатов измерения и моделирования $V_O = [V_{O_R}, V_{O_M}]$. Сформированный на объектном уровне, он передается на логический уровень $V_O : O_L \rightarrow L_L$, где производится его математическая обработка. Ее целью является определение параметров-функционалов временных, частотных и (или) параметрических характеристик и подготовка выбранных результатов, образующих вектор V_L , к визуализации. Для этого данный вектор передается на визуальный уровень $V_L : L_L \rightarrow V_L$, где содержащиеся в нем данные отображаются с помощью средств визуализации в виде статических значений и разнообразных функциональных зависимостей. Кроме них, визуальному уровню принадлежат инструменты интерактивного управления значениями параметров объекта и его модели, позволяющие передавать команды интерактивного управления C_I с визуального на логический уровень $C_I : V_L \rightarrow L_L$.

Команды C_I наравне с результатами экспериментов V_O используются на логическом уровне для расчета новых значений параметров компонентов $P_O = [P_{O_R}, P_{O_M}]$. Рассчитанные значения параметров компонентов в виде вектора P_O передаются с логического на объектный уровень $P_O : L_L \rightarrow O_L$, где используются для параметризации компонентов реального объекта O_R и (или) его компьютерной модели O_M .

Получаемые на различных этапах работы алгоритма ИУ результаты могут быть переданы в генератор отчетных форм [4], где осуществляется формирование документов, представляющих собой технологические отчеты о функционировании СТО, рекомендации по выполнению разнообразных мероприятий, направленных на улучшение характеристик его функционирования. Помимо этого, такими документами, формируемыми в формате различных текстовых редакторов (*MS Word*, *Latex*, *PDF* и др.), могут являться экологические программы, направленные на снижение риска возникновения и ликвидацию загрязнений окружающей природной среды, вызванных функционированием СТО.

Требования к программно-алгоритмическому аппарату реализации многоуровневых моделей SCADA-систем

В алгоритм интеллектуального управления СТО предприятий НГП входят команды получения данных измерения наблюдаемых характеристик реального СТО и результатов анализа его ММ, блоки их математической обработки, определения значений параметров компонентов, формирования управляющих воздействий, а также средств визуализации и выполнения принятых оператором решений.

Наиболее удобным способом представления такого алгоритма является графическая форма – в виде взаимосвязанных между собой компонентов, определяющих операции и шаги алгоритма.

Для построения и анализа многоуровневой модели SCADA-системы (рис. 2) должен быть применен универсальный метод компьютерного моделирования, допускающий совмещение в единой многоуровневой модели SCADA-системы математических моделей СТО с информационными, энергетическими и вещественными потоками в связях, имитационных моделей алгоритмов управления и *визуальных моделей средств отображения результатов и интерактивного управления*. Для реализации компьютерных моделей SCADA-систем, в основе которых лежит алгоритм интеллектуального управления СТО с учетом накладываемых на режимы его функционирования экологических и экономических ограничений, целесообразно применить универсальный метод компьютерного моделирования, позволяющий объединять в единой компьютерной модели компоненты математического и имитационного видов моделирования, а также модели визуальных средств. Их сочетание позволит эффективно формировать многоуровневые компьютерные модели SCADA-систем, предназначенные для интеллектуального управления СТО предприятий НПП.

Выбор для формирования компьютерных моделей SCADA-систем метод должен:

1) обеспечивать связь с реальным СТО для передачи в модель результатов измерения его наблюдаемых характеристик и выполнения управляющих воздействий, вырабатываемых оператором SCADA-системы;

2) формировать математические модели СТО в графическом виде из компонентов источников, преобразователей и измерителей информации, энергии и многофракционных вещественных потоков;

3) обеспечивать автоматизированную параметризацию компонентов ММ СТО путем ввода значений, их выбора из информационных источников и (или) путем расчета математических выражений;

4) производить анализ ММ СТО в статическом и динамическом режиме с возможностью вывода результатов в виде числовых значений, временных, частотных или параметрических зависимостей и автоматическую обработку результатов измерения и анализа. Обеспечивать на его основе автоматизированное решение задач многовариантного анализа и параметрического синтеза СТО;

5) оперативно визуализировать данные измерения и моделирования, а также результаты выполнения шагов алгоритма интеллектуального управления СТО;

6) формировать управляющие воздействия на СТО с помощью ПМЗ экспертной системы.

Таким образом, многоуровневая компьютерная модель SCADA-системы является совокупностью взаимосвязанных моделей различных видов моделирования, для анализа и функционирования которой в настоящее время не разработано достаточно приемлемого программно-алгоритмического аппарата.

Заключение

В процессе исследования используемых в нефтегазовой промышленности SCADA-систем были выявлены проблемы, связанные с частичным или полным отсутствием функций, позволяющих автоматизировать процессы определения, установления и поддержания экологически безопасных и экономически эффективных режимов функционирования оборудования. Кроме этого, в таких системах нерешенными остаются вопросы автоматизации слежения за характеристиками физико-химических процессов, взаимодействующих с объектами природной среды.

Для решения этих проблем в данной работе предложен принцип многоуровневого формирования и представления компьютерных моделей SCADA-систем с математической моделью объекта управления, сохраняющей его топологию, первичные параметры и наблюдаемые переменные. Построенные на его основе компьютерные модели SCADA-систем, помимо реализации основного алгоритма интеллектуального управления СТО с учетом накладываемых на протекающие в нем технологические процессы экологических и экономических ограничений, позволят реализовать исследовательские комплексы и компьютерные тренажеры. Исследовательские комплексы дадут возможность автоматизировать отладку новых средств, методов и алгоритмов управления, а компьютерные тренажеры направлены на автоматизацию обучения и переподготовки персонала без вывода основного технологического оборудования из производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ганджа Т.В. Формализованное представление технически сложного объекта // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2012. – № 2. – С. 29-35.
2. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В. Алгоритм формирования и вычисления математических выражений методом компонентных цепей // Математические машины и системы. – 2010. – № 8. – С. 8-15.
3. Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Талыбов Э.Г. АСУ ТП промыслов газоконденсатного месторождения Крайнего Севера – М.: Недра-Бизнесцентр, 2000.
4. Ганджа Т.В., Панов С.А. Задачи и структура подсистемы документирования исследований в среде многоуровневого моделирования // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – № 2 (24). – Ч. 2. – С. 334-338.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.

E-mail:

Ганджа Тарас Викторович – gandgatv@gmail.com;

Дмитриев Вячеслав Михайлович – dmitriewvm@gmail.com.