

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ТРЕНАЖЕРА ПЕРЕВАЛКИ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ**М.А. Уткин, М.С. Федоров, К.М. Жеронкин, С.А. Нибур (Санкт-Петербург)****Введение**

Данная работа посвящена опыту разработки компьютерного тренажера Комплекса перегрузки сжиженных углеводородных газов (СУГ) в морском торговом порту Усть-Луга. Комплекс предназначен для приема, временного хранения и отгрузки СУГ и светлых нефтепродуктов в морской транспорт.

Разработанный тренажер используется как для тестирования алгоритмов управления АСУ ТП, так и обучения персонала комплекса практическим навыкам управления технологическими операциями.

Целью тестирования является верификация алгоритмов контроля и управления в процессе проектирования, строительства и модернизации АСУ ТП. Тестирование возможно благодаря включению в тренажер кода программного обеспечения АСУ ТП.

Целью обучения является изучение оборудования, используемого в технологических операциях; управление агрегатами и системами; выполнение технологических операций; обнаружение неисправностей оборудования; принятие решений в аварийных ситуациях.

Для решения перечисленных задач тренажер обеспечивает:

- работу оператора с человеко-машинным интерфейсом станций АСУ ТП комплекса;
- контроль и управление технологическими операциями с использованием алгоритмов управления, реализованных в ПО АСУ ТП;
- математическое моделирование процессов массопереноса и теплообмена;
- имитацию организационных распоряжений в процессе управления технологическими операциями;
- создание отчетов результатов тестирования.

Для тестирования алгоритмов управления и обучения персонала комплекса в тренажере реализована имитация работы агрегатов и основных технологических операций. Разработка математических моделей является основной задачей в процессе реализации тренажера. Они должны достоверно воспроизводить динамические процессы в зависимости от начальных условий, внешних возмущений и управляющих воздействий, а также взаимодействие различных агрегатов в процессе выполнения технологических операций.

Организация тренажера

Тренажер разрабатывался из условий имитации работы оборудования и выполнения технологических операций как в реальном, так и ускоренном времени; использования в тренажере ПО контроллеров и станций управления АСУ ТП без существенной коррекции; применения специализированных средств имитационного моделирования динамических процессов.

В состав тренажера входят ОРС-сервер, станция моделирования динамических процессов, АРМ инструктора и АРМ обучаемого (рис.1).

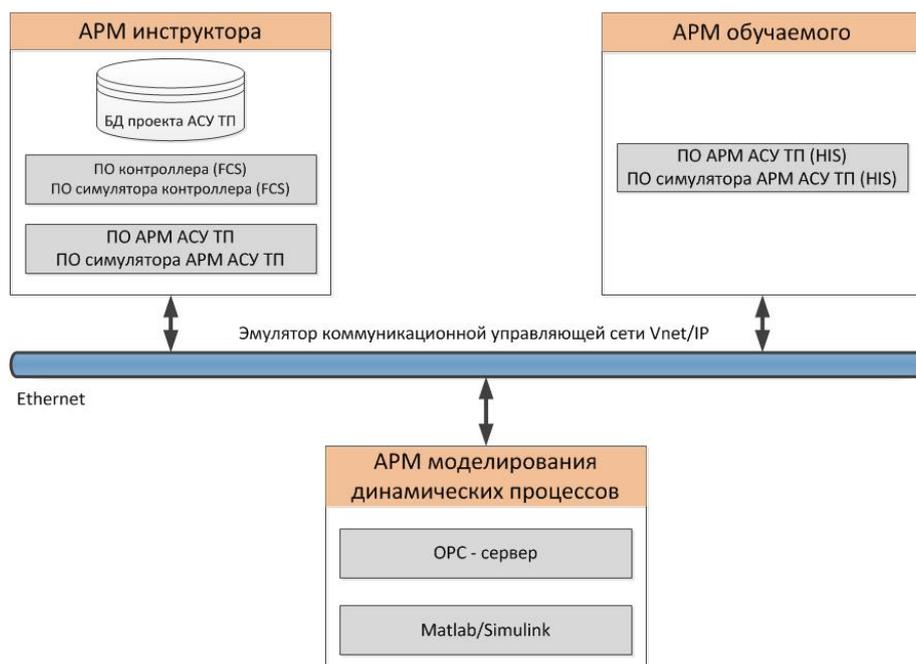


Рис. 1. Структурная схема тренажера

АРМ моделирования динамических процессов предназначен для имитации в реальном времени технологических операций и агрегатов различного назначения. В качестве системы динамического моделирования в тренажере используется Matlab/Simulink с функцией OPC-клиента. Принцип псевдореального времени позволяет проводить имитации динамических процессов как в реальном, так и в ускоренном времени. Для реализации обмена данными между станциями моделирования, инструктора и оператора используется OPC-сервер EхаOPC компании Yokogawa. OPC-сервер является источником данных для OPC-клиентов. ПО OPC-сервера установлено на АРМ моделирования динамических процессов.

АРМ инструктора предназначен для контроля и управления процессом тренинга. ПО управления тренингом поддерживает следующие функции:

- определение задания для испытуемого;
- запуск и остановку моделирования в процессе тренинга;
- просмотр всех переменных динамического процесса на мнемосхемах, трендах и окнах предупредительной и аварийной сигнализации;
- имитацию неисправностей измерительных приборов и исполнительного оборудования.

На АРМ инструктора установлен проект программного обеспечения АСУ ТП комплекса, реализованный на основе ПТК CENTUM VP компании Yokogawa. Использование расширенных функций тестирования CENTUM VP позволяет имитировать работу программного обеспечения 7 контроллеров АСУ ТП без использования технических средств Centum VP. Для имитации неисправностей оборудования, организационных действий в проект добавлено ПО восьмого контроллера.

АРМ оператора предназначен для обучения персонала комплекса в условиях, максимально приближенных к реальным. На АРМ оператора установлено ПО станции HIS, входящей в состав АСУ ТП комплекса, с расширениями, обеспечивающими имитацию организационных мероприятий.

ПО АРМ оператора поддерживает следующие функции:

- отображение параметров технологического процесса, состояния и режимов работы технологического оборудования, предупредительную и аварийную сигнализацию;
- подачу команд на исполнительное оборудование для его включения и выключения;
- задание уставок и программ управления в виде последовательности действий, например, карго-план погрузки танкера;
- организационные действия, заключающиеся в получении распоряжений, согласовании действий, выдаче распоряжений.

Модели технологических операций и агрегатов

Математические и программные модели технологических операций и оборудования перевалки СУГ разрабатывались с учетом того, что система хранения и массопереноса является замкнутой. Данное свойство обеспечивается герметичностью сосудов, трубопроводов и технологического оборудования. Транспортировка жидкой (ЖФ) и газовой (ГФ) фаз СУГ осуществляется по разным трубопроводам. Изменение общей массы продукта в системе возможно в результате сброса газовой фазы на факельную установку при избыточных давлениях или утечках в аварийных ситуациях.

В процессе перемещения ГФ и ЖФ продукта движутся разнонаправленно. При наливке СУГ в танкеры напорного типа жидкая фаза движется по трубопроводу от емкости через насос в танкер, газовая фаза по мере наполнения танкера вытесняется и движется по трубопроводу в газовое пространство емкостей резервуарного парка. При сливе железнодорожных цистерн ГФ СУГ забирается компрессором из емкостей хранения. Компрессор, сжимая ГФ, повышает ее давление и плотность. С выхода компрессора ГФ поступает в железнодорожные цистерны, в которых создается повышенное давление. Разность давлений ГФ продукта между емкостями и железнодорожными цистернами вынуждает перемещаться ЖФ продукта из железнодорожных цистерн в емкости резервуарного парка.

Выполнение ряда технологических операций связано с переводом газовой фазы продукта в жидкую и наоборот. Примерами таких операций являются отсос паров из железнодорожных цистерн, термостатирование СУГ в изотермических резервуарах, циклы Карно в холодильных машинах.

В уравнениях движения жидкой и газовой фаз продукта [1] использовались:

- закон сохранения массы ЖФ и ГФ СУГ в системе;
- зависимость плотности жидкой фазы пропана, пропилена и бутана от температуры продукта [2];
- зависимости давления и плотности насыщенных паров пропана, пропилена и бутана от температуры [2];
- статические характеристики «расход-давление», «расход-ток» насосных и компрессорных агрегатов [5];
- статические характеристики регулирующих клапанов;
- уравнения изменения уровня в емкостях от расхода, вызванных как работой насосных агрегатов, так и разницей давлений газовой фазы в емкостях [4];
- уравнения Бернулли, являющиеся уравнениями удельной энергии для потока жидкостей и газов в двух сечениях;
- уравнения теплообмена, кипения и конденсации в холодильных установках [1].

Особенностью терминалов перевалки жидких продуктов является выделение емкостей и трубопроводных линий под разные виды продуктов, установка на трубопроводах большого количества электроприводной запорной арматуры. Общими

объектами для всех технологических операций являются емкости хранения продукта. Большинство трубопроводов и силовых агрегатов выделено для выполнения конкретных операций переноса жидкой и газовой фаз продукта. По этой причине построение математических и программных моделей осуществлялось по принципу имитации отдельных технологических операций. Это позволило сократить размерность систем уравнений, упростить описание динамических процессов и минимизировать количество взаимосвязанных агрегатов при моделировании технологической операции.

На терминалах перевалки СУГ выполняются следующие основные технологические операции:

- слив продукта из железнодорожного транспорта в емкости хранения;
- отсос паров СУГ из железнодорожных цистерн по окончании слива;
- перекачка продукта из емкости в емкость;
- охлаждение СУГ под давлением для хранения в изотермических резервуарах;
- термостатирование СУГ в изотермических резервуарах;
- отгрузка продукта из резервуарного парка в танкеры в соответствии с карго-планом;
- сброс паров на факел при избыточном давлении парогазовой фазы в емкостях;
- зачистка и продувка азотом различных технологических агрегатов.

В процессе создания тренажера разработаны типовые программные модели [3-6] емкостей различной формы, течения жидкостей и газов в трубопроводах, запорно-регулирующей арматуры, насосов и компрессоров, кипения жидкости и конденсации паров, теплообменных аппаратов.

Количество датчиков и технологических агрегатов, входящих в объект управления, составляет несколько тысяч. Реализация взаимодействия такого большого количества элементов вызывает высокие затраты как в процессе разработки, так и отладки ПО. В тренажере при моделировании технологических операций было реализовано взаимодействие следующего количества единиц оборудования:

- железнодорожные цистерны - 20;
- емкости и резервуары - 18;
- задвижки - более 100;
- регулирующих клапанов - 11;
- центробежных насосов - 14;
- компрессоров - 4;
- сепараторов и ресиверов - 5;
- теплообменных и холодильных аппаратов - 6;
- узлов коммерческого учета - 3.

Приведенных количественных показателей оказалось достаточно для выполнения основных функций тренажерного комплекса. Верификация разработанных математических моделей производилась сравнением данных, контролируемых в АСУТП, с данными, полученными при моделировании в тренажере.

Процесс моделирования в тренажере

Запуск моделирования в тренажере производится последовательным включением трех АРМ: инструктора, моделирования динамических процессов и оператора. Выбор моделируемой технологической операции и изменение начальных условий осуществляется на АРМ моделирования динамических процессов. На АРМ инструктора вводятся неисправности оборудования, которые возникают при выполнении моделирования. В процессе моделирования технологической операции

оператор получает и отдает распоряжения, собирает маршрут переноса жидкой и газовых фаз продукта, включает и выключает силовые агрегаты, управляет параметрами технологических операций, следит за сообщениями предупредительной сигнализации, локализует аварийные ситуации, останавливает моделирование по окончании технологической операции.

Выводы

В процессе обучения на тренаже используются средства визуализации и управления аналогичные средствам станций контроля и управления АСУ ТП, что повышает степень адаптации персонала при переходе к управлению реальным технологическим процессом.

Адекватность математических моделей тренажера реальным технологическим процессам позволяет обучать персонал комплекса безопасному выполнению работ на объекте без использования реального технологического оборудования.

Возможность имитации динамических процессов в ускоренном времени позволяет сократить время освоения управления длительными технологическими операциями, например, такими как погрузка танкера.

Имитация неисправностей измерительных приборов и силовых агрегатов позволяет освоить принципы обнаружения и локализации аварийных ситуаций.

Программное обеспечение тренажера может быть использовано при отладке алгоритмов сигнализации и управления системы автоматизации без проведения опасных экспериментов.

Литература

1. Абиев Р.Ш. Вычислительная гидродинамика и тепломассообмен. Издательство НИИХимии СПбГУ, 2012. – 576 с.
 2. Рид Р., Праустниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. – Л.:Химия, 1982. – 592 с.
 3. Уткин М.А., Иванов С.А., Исаков М.И. Управляемая математическая модель налива сжиженных углеводородных газов в танкеры // Проблемы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа: материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2013.- С. 13 – 17.
 4. Уткин М.А., Федоров М.С. Иванов С.А., Исаков М.И. Математическая модель процесса управления сливом сжиженных углеводородных газов // Материалы V Международной научной конференции «Системный синтез и прикладная синергетика». Пятигорск: ФГАОУ ВПО «СКФУ» (филиал) в г. Пятигорск, 2013. Т.3, С. 151 – 156.
 5. Уткин М.А., Иванов С.А., Исаков М.И. Математические модели управляемых технологических процессов перевалки сжиженных углеводородных газов // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014.:Труды.[Электронный ресурс]. М.: ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова, 2014. С. 4499 – 4509.
- Жеронкин К.М., Уткин М.А., Федоров М.С. Моделирование управляемых процессов слива сжиженных углеводородных газов. // Сборник статей Международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизации и управления в технических системах – 2015», Пенза: Изд-во ПГУ, 2015. Т.1, С. 355 – 359.