

отчеты о пользовании системой, что дает представление о востребованности и окупаемости системы в целом.

Заключение

Рассмотренные проекты отражают лишь часть возможностей, которые предоставляют ГИС нефтегазовым предприятием. Сейчас бурно развиваются как сами ГИС-технологии, так и методы их применения в различных областях, таких как системы реального времени, оперативный ситуационный анализ, моделирование и прогнозирование чрезвычайных ситуаций, маркетинговое планирование сбытовых сетей и многих др. Эти технологии востребованы и применяются по всему миру и, используя имеющийся мировой опыт, российские компании могут существенно

повысить эффективность многих аспектов своей деятельности.

Список литературы

1. *Бакланов А. В.* Нефть на цифровой карте. Москва. Дата+. 2008.
2. *Ковгар В. Б., Козлитин В. Е.* Генплан – ключ к информационной интеграции предприятия. ArcReview. 2011. №1 (56).
3. *Пономаренко Ю. М., Костикова Е. Ю.* Геоинформационная система «Генплан» ОАО «Саратовский НПЗ» // ArcReview. 2012. № 4 (63).
4. *Галкин О.А., Шатилов Е.В.* Корпоративная ГИС ООО «РН-Юганскнефтегаз» // ArcReview, №4 (71), 2014 г.
5. British Petroleum Азербайджана управляет магистральными трубопроводами с помощью ГИС // ArcReview, №1 (56), 2011 г.

Щербина Сергей Вячеславович — заместитель генерального директора компании Esri CIS.
 Контактный телефон (495) 988-34-81.
 E-mail: sscherbina@esri-cis.ru

СОВРЕМЕННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДОВ

Д. Занг, Г. Ханмер, А.В. Сидоренко (Atmos International)

Рассмотрены возможности современного программного пакета моделирования гидравлических характеристик трубопроводов Atmos SIM, включающего гидравлические расчеты, отслеживание состава и качества, а также прогностическое моделирование. Показаны возможности модуля анализа пульсаций давления. Представлены возможности применения Atmos SIM Trainer в качестве компьютерного тренажера для подготовки операторов ТП.

Ключевые слова: моделирование гидравлических характеристик трубопроводов, прогностическое моделирование, тренажер, анализ пульсаций давления.

Введение

Пакет для моделирования гидравлических характеристик трубопроводов для коммерческого применения был впервые разработан в конце 1970-х гг. В настоящее время существует множество подобных продуктов, которые можно разделить по типу текучих сред: для газового, жидкостного или многофазного трубопровода.

Применение симулятора многофазного трубопровода в данной статье не рассматривается. В зависимости от требований к применению оригинальных разработок некоторые пакеты могут использоваться только в режиме on-line (например, для обнаружения утечек), а другие — для анализа и расчетов гидравлического поведения вещества в режиме off-line (например, для проектирования трубопроводов). В то же время некоторое ПО для моделирования газовых трубопроводов не применимо для жидкостных трубопроводов, а некоторое ПО для моделирования жидкостных трубопроводов не пригодно для газопроводов. Кроме того, некоторые пакеты могут обеспечить решения для стационарных режимов, но не подходят для нестационарных решений.

Программное ядро моделирования использует три основных метода: характеристик, явных и неявных конечных разностей.

Метод характеристик обладает высокой точностью для изучения переходных процессов (таких как сверхкритический поток) и для анализа пульсаций давления,

но для большинства трубопроводных сетей он является слишком медленным. Более длительные временные интервалы применяются для методов явных и неявных конечных разностей. Предпочтение, как правило, отдается алгоритму с неявными конечными разностями благодаря его скорости и гибкости при выборе временных переменных шагов и длины пространственной сетки.

Большинство из упомянутых алгоритмов были реализованы на языке программирования Fortran 77 XX века. В последние годы к программам, написанным на старом вычислительном ядре, добавлены различные графические улучшения и интерфейсы на основе продуктов Microsoft Visual Studio, в то время как само расчетное ядро изменялось незначительно.

Для удовлетворения растущего спроса компаний, проектирующих и эксплуатирующих трубопроводы, за последние 10 лет фирма Atmos International разработала современное ПО для гидравлического моделирования Atmos SIM (SIMulation — моделирование). К основным особенностям Atmos SIM относятся:

- единое ПО для газовых и жидкостных трубопроводов;
- единая конфигурация для моделирования в режимах on-line и off-line;
- высокая точность результатов on-line моделирования на основе оценки состояния модели по методу максимального правдоподобия — Maximum Likelihood State Estimation (MLSE);

- современный Windows-интерфейс, позволяющий использовать метод перетаскивания элементов при конфигурировании трубопроводов;
- адаптивная длина временных и пространственных решеток для удовлетворения требований к точности моделирования за кратчайшее время;
- наличие в среде для подготовки операторов механизмов конфигурирования систем управления с ПИД и более сложными алгоритмами регулирования;
- автоматизированная функция анализа пульсаций (экономит время и средства при реализации различных сценариев пульсаций давления);
- возможность удобного расширения или комбинирования моделей трубопроводных сетей
- разработка ПО с использованием последних версий среды программирования Microsoft Studio.

ПО Atmos SIM с высокой точностью моделирует гидравлическое поведение как газовых, так и жидкостных трубопроводов. Ядро системы решает связанные уравнения баланса массы, момента, энергии в текучей среде и (опционально) энергии в грунте, окружающем трубопровод. Результирующие дифференциальные уравнения в частных производных решаются одновременно с уравнениями, описывающими поведение устройства (характеристики насоса/компрессора, уравнения клапанов, уставки нагревателя и охладителя, дросселируемый или свободный поток, уравнения моделей утечек, уравнения сопротивления и т.д.). Ядро выполняет расчет потока (стандартный, фактический и массовый расход), давления, температуры в любой точке трубопровода. Ядро рассчитывает значения на основе уравнения состояния и моделей свойств текучих сред: плотности, вязкости (кинематической и динамической), скорости звука, теплоемкости, а также и формирует отчеты с детальным описанием текучей среды в виде профиля для каждой трубы: скорости текучей среды, числа Рейнольдса, коэффициента трения, давления, температуры и др. Для стандартных трубопроводов Atmos SIM предоставляет широкий выбор уравнений потока и уравнений состояния.

Для решения уравнений гидравлического расчета трубопроводов Atmos SIM применяет обладающий высокой устойчивостью неявный метод конечных разностей. Этот метод использует автоматически настраиваемый временной шаг, а также автоматически настраиваемую длину решетки, что является уникальным

решением. Использование настраиваемого времени и шага решетки означает, что пользователю не нужно беспокоиться о конфигурировании параметров числового алгоритма — процесс их выбора полностью автоматизирован. Пользователь указывает нужную точность, и Atmos SIM автоматически настроится на более детальное моделирование трубопровода там, где это необходимо, и менее детальное с более длительными временными шагами в областях устойчивого линейного поведения.

Рассмотрим некоторые области применения ПО Atmos SIM:

- on-line приложение для газовых и жидкостных трубопроводов;
- анализ пульсаций давления для жидкостных трубопроводов;
- тренажер для операторов трубопроводов.

On-line приложение для газовых и жидкостных трубопроводов

On-line-моделирование позволяет операторам диспетчерской управлять и безопасно обслуживать сложные трубопроводные сети, а также предлагает калибровочные конфигурации для разработки проектов трубопроводов в режиме off-line, прогностического моделирования и учебного симулятора. Главное достоинство данного ПО моделирования трубопровода — возможность использования на протяжении всего срока службы трубопровода, так как оно охватывает все этапы от эскизного проекта до эксплуатации и технического обслуживания.

Модуль оценки состояния Atmos SIM использует уникальный метод минимизации влияния ошибок измерений и отклонений уровня доверия для различных из-

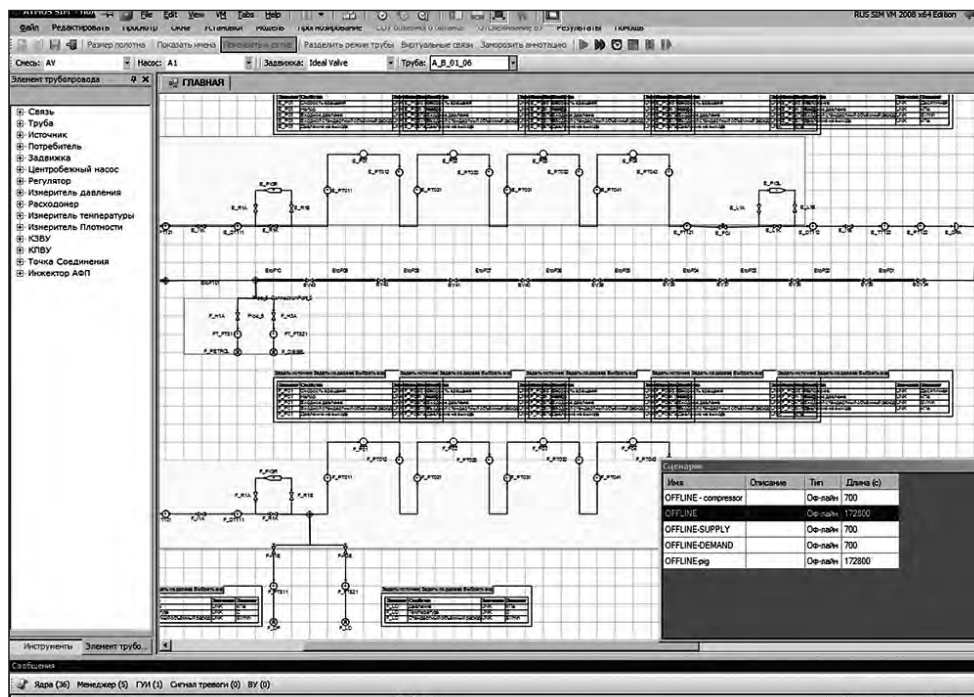


Рис. 1. Пример сконфигурированной трубопроводной сети

мерительных приборов. Метод оценки состояния по методу максимального правдоподобия (MLSE) является наиболее надежным на рынке on-line-моделирования, особенно для систем с большим объемом КИПа.

Метод MSLE может работать с группами измерений, дефектной аппаратурой и учитывать уровень доверия измерительных приборов. От пользователя не требуется выбирать приборы, включаемые в расчет модели, что уменьшает степень вмешательства оператора и увеличивает точность модели. Метод MLSE работает без фиксированных граничных условий и поэтому не создает ложных флуктуаций потока вследствие погрешностей измерения давления.

С учетом потребностей больших сетей была разработана on-line модель, позволяющая справиться с расширяющейся и меняющейся топологией. Таким образом, система Atmos SIM предоставляет ряд возможностей для бесперебойного повторного запуска после введения новой топологии модели.

В стандартном варианте модуль on-line моделирования отображает текущие расчетные и измеренные значения следующих переменных: давление, расход, температура, скорость текучей среды, плотность; в расширенном — число отображаемых параметров > 20 ед.

Наряду с мощным средством построения графиков и трендов для основных расчетных переменных доступны определяемые пользователем пороговые аварийные сигналы. Настройки для аварийных сигналов повышенного/пониженного давления могут быть заданы для отдельных компонентов сетей, таких как сегменты трубопроводов или точки доставки.

На рис. 1 представлен пример трубопроводной сети с сегментами трубопроводов, клапанами, узлами, насосами и регуляторами.

Для on-line-моделирования модель использует измерения расхода, давления, температуры и плотности. При этом, прежде чем данные измерений будут использованы в модели трубопровода для поддержания высокой надежности модели, выполняется про-

верка их корректности. Кроме того, автоматическая подстройка, выполняющаяся постоянно, обеспечивает минимальное расхождение между моделью и реальным трубопроводом.

Результаты моделирования могут быть выражены в виде функции времени, расстояния или показаны непосредственно на карте трубопровода.

Основные функции on-line приложения Atmos SIM:

- on-line расчеты расхода, давления, температуры и заполнения трубопровода;
- отслеживание состава и качества газа;
- отслеживание внутритрубного устройства (скребка) и расчеты ожидаемого времени прибытия;
- отслеживание партий и расчет времени прибытия;
- обнаружение утечек и их местонахождения;
- прогностическое моделирование.

Отслеживание качества отдельного компонента позволяет обеспечить трубопроводной сети требуемое качество доставляемого продукта при смешивании газов, отвечающих техническим условиям, газом, не отвечающими этим условиям. Для эффективного смешивания газов требуется точное прогнозирование местоположений пиков некондиционного качества газа и точное прогнозирование времени прохода качественного газа. На рис. 2 показано применение моделирующего ПО для точного прогнозирования прибытия пика H₂S в точку доставки:

- на верхнем графике для точки доставки пик H₂S обнаруживается с помощью измерений на линиях, обведенных овалом, для подводных точек смешивания;

- на нижнем графике слева показан тренд измерения для точки доставки, справа моделируемый пик (обведен окружностью) прибывает к месту доставки после прохождения 683 км за 2 дня 9 ч и 22 мин. Из рисунка видно, что результаты моделирования точно соответствуют тренду измерений (см. пик Расчет). Ошибка предсказанного моделью времени прибытия составляет < 1 мин.

Точное отслеживание пиков помогает оператору трубопроводов значительно увеличить продажи кондиционного газа.

ПО Atmos SIM может также успешно применяться для on-line прогностического моделирования, позволяющего оператору трубопровода на основе текущего состояния и планируемых трубопроводных операций прогнозировать поведение трубопровода в ближайшем будущем. Прогнозирование выполняется от гидравлического момента текущего состояния трубопровода на будущий период (обычно 24 ч). Прогностическое моделирование может выполняться автоматически

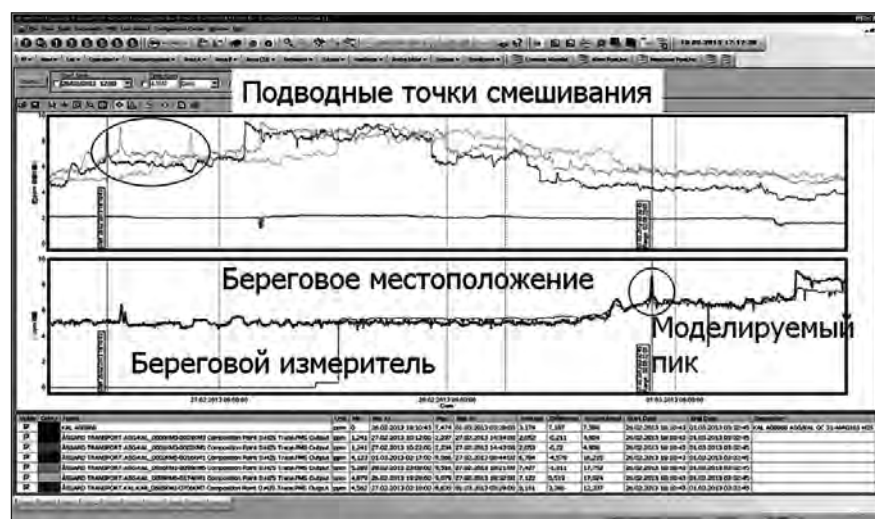


Рис. 2. Точное отслеживание пиков H₂S и прогнозирование времени прибытия с помощью системы Atmos SIM в on-line-режиме

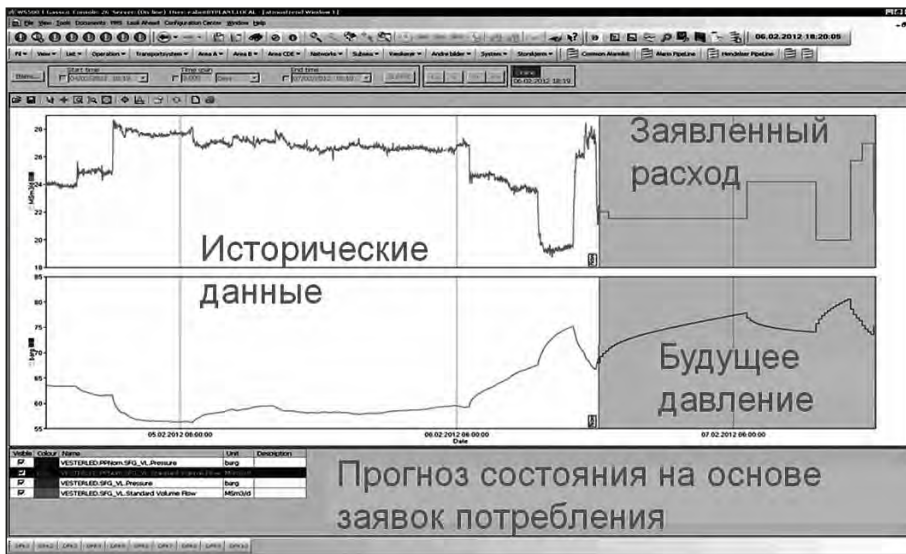


Рис. 3. Результаты прогнозирующей модели, полученные с применением номинальных данных расхода (серая область - данные прогнозирования, белая область - статистические данные)

по графику, например, каждые 30 мин, или запускаться вручную оператором. На рис. 3 представлены статистические и прогнозные данные по расходу и давлению трубопровода, полученные после запланированного прогностического моделирования, выполненного на основе выставленных оператору номинальных расходов.

Благодаря точности моделирования трубопровода оператор может оптимизировать краткосрочные продажи, что обеспечивает по данным компании использованием ПО увеличение продаж на 91,25 млн. станд. м³ в год, то есть на 7,5 млн. долл. США в год.

Анализ пульсаций давления для жидкостных трубопроводов

Пульсации давления в системе трубопроводов могут привести к превышению параметра максимально допустимого давления в трубопроводе. Высокие давления могут повредить насосы, клапаны и другие компоненты трубопроводов, а также могут привести к разрыву трубопровода. Броски давления в переходном процессе происходят в трубопроводах из-за внезапных изменений скорости потока текучей среды. Эти изменения скорости потока могут происходить вследствие закрытия клапанов или запуска насосов. Пульсации давления можно предотвратить с помощью оценки трубопроводов и принятием защитных мер.

Для минимизации времени, затрачиваемого на анализ чрезмерных пульсаций давления, был разработан инструмент, являющийся частью системы Atmos SIM. Он используется для планирования сценариев динамического моделирования, выполнения моделирования переходных процессов, проведения первичного анализа результатов моделирования и создания отчета по анализу пульсаций давления. Вся эта процедура автоматизирована и выполняется за один шаг.

При анализе трубопровода на пульсации давления важно убедиться, что учитываются все потенциаль-

ные риски и угрозы для трубопровода, возникающие в результате пульсации давления. Поскольку каждый трубопровод в этом отношении уникален, ниже перечислены примеры сценариев, которые следует предусмотреть, если:

- клапан подачи закроется за заданное число секунд;
- насос будет запущен повторно в заданном интервале времени (в секундах) после остановки;
- клапан аварийной остановки будет быстро закрыт;
- оператор откроет/закроет клапан слишком быстро.

Если конструкция трубопровода или условия работы изменятся, анализ пульсаций давления должен быть произведен

снова для всех частей трубопроводной системы. Этот анализ пульсаций давления должен включать все изменения трубопроводов и условий эксплуатации, при этом необходимо контролировать воздействие указанных модификаций на все части сети, а не только на модифицированную секцию трубопровода.

Программа анализа пульсаций давления анализирует все выбранные части трубопровода последовательно без дополнительного ввода каких-либо данных пользователем. Это весьма эффективный метод анализа больших трубопроводов и сетей, позволяющий пользователям решать другие задачи, пока ПО выполняет расчеты. После завершения анализа пользователь получает отчет в выбранном формате. Этот отчет охватывает все сценарии пульсаций давления и содержит рассчитанные давления, таблицы и сведения о трендах данных.

Формат выдачи автоматически формируемого отчета об анализе пульсаций давления удобен для изучения регулирующими органами и специалистами по трубопроводному проектированию.

Автоматически сформированный отчет показывает выборку данных в табличном виде для каждого сценария пульсаций давления. Эта информация включает:

- версию ПО для учета;
- наименование и описание проекта;
- дату формирования отчета;
- наименование закрытого клапана/отключенного насоса;
- индикация ошибки МАОР (максимально допустимое рабочее давление)/SOP (безопасное рабочее давление);
- время/местоположение/давление МАОР/ошибка SOP;
- время остановок насосов.

Отчет также формирует выборку трендов для каждого сценария пульсаций давления, включая:

- тренд давления MAOP/ошибка SOP;
- тренд давления выше по потоку от места закрытия клапана/остановка насоса;
- профиль максимального/минимального пьезометрического давления для каждого сценария;
- тренды расхода по сценарию.

В случае отказа в любом из сценариев анализа пульсаций давления эта информация может быть использована для определения, какую процедуру или устройство применить для уменьшения отрицательных последствий пульсаций давления. Профили минимального и максимального пьезометрического давления, определенные с помощью гидравлического анализа, могут быть использованы в процессе расчета требуемой толщины стенки для заданного проектного давления.

Без автоматизации проведение анализа пульсаций давления для больших трубопроводных компаний может занимать несколько дней, недель или даже месяцев в зависимости от размера и сложности трубопровода. Выполнение каждого отдельного сценария пульсаций давления, получение результатов моделирования и формирование отчета об анализе пульсаций давления являются стандартными задачами, которые могут быть автоматизированы. Автоматизация этих задач зачастую позволяет проводить анализ пульсаций давления за несколько часов, что может значительно уменьшить расходы. К дополнительным возможностям может быть отнесен дополнительный доход, получаемый за счет своевременного выполнения анализа пульсаций давления для более раннего увеличения пропускной способности трубопровода или возможность обеспечить временное увеличение пропускной способности для удовлетворения разовой потребности, что могло бы оказаться невозможным, если бы проведение анализа пульсаций давления требовало несколько дней или недель. Автоматическое получение результатов также позволяет устранить ошибки процедуры, вызванные человеческим фактором, увеличивая тем самым точность анализа. Например, выбор неверного местоположения пикового давления может иметь катастрофические последствия.

Тренажер для операторов трубопроводов

Используя точные модели, настроенные с применением

данных измерений в on-line режиме, система Atmos SIM позволяет создать реалистичный и высокоточный тренажер Trainer.

Цели использования тренажера:

- подготовка операторов в управляемой среде;
- отработка поведения в чрезвычайных ситуациях на трубопроводах без риска повреждения оборудования;
- представление об эксплуатации трубопроводов, управлении и гидравлике;
- развитие навыков принятия решения и сокращение времени реакции в чрезвычайных ситуациях;
- обеспечение безопасной и реалистичной учебной платформы для аномальных сценариев эксплуатации;
- снижение затрат на обучение опытных/неопытных операторов;
- повышение квалификации операторов;
- формирование у операторов уверенности в своих действиях;
- разработка рабочих процедур;
- соответствие нормативным требованиям, например, 49 CFR Части 192 и 195 в США.

Кроме точного механизма гидравлического моделирования система Atmos SIM включает и развитую систему управления ПИД. Сочетание средств гидравлического моделирования трубопровода и системы управления делает Atmos SIM средством построения полного учебного симулятора с системой контроля и сбора данных SCADA и логикой управления на ПЛК.

На рис. 4 представлен пример пользовательского интерфейса тренажера.

Система Atmos SIM Trainer поддерживает стандартные роли инструктора и обучаемого. Учебные

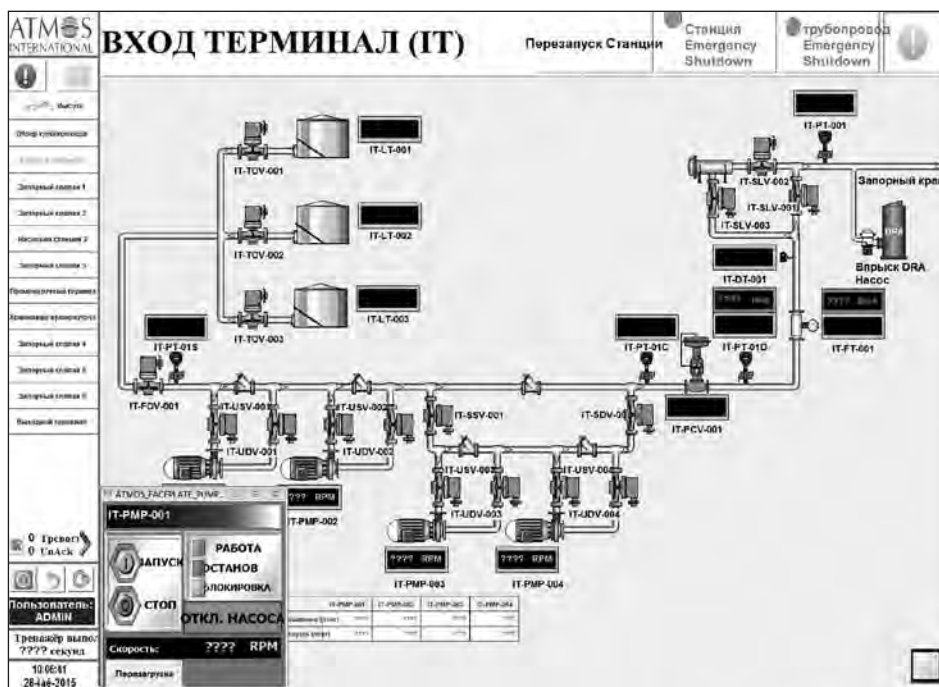


Рис. 4. Пример графического пользовательского интерфейса тренажера Atmos Trainer

сценарии могут быть определены заранее инструктором так, чтобы соответствовать штатным операциям эксплуатации трубопровода, например, запуск или остановка насоса/компрессора. Для обучения диспетчеров действиям в случае возникновения неожиданных ситуаций, таких как утечки, отказы насосов или аварийные отключения, в сценарий могут быть включены аномальные условия эксплуатации.

Основные функции инструктора в Atmos SIM Trainer:

- выбор и загрузка конфигурации сети (проекта). После загрузки проекта инструктор выбирает сценарий, определяющий поведение компонентов сети во времени, например, потребления и поставки. Используя приложение Atmos SIM Trainer в нормальном режиме, инструктор может редактировать сценарий, включая в него профили пользователей, что ведет к созданию нештатных ситуаций в модели, с которой работает обучаемый. В дополнение к внесению изменений в сценарий с помощью временных зависимостей инструктор может внести изменения заданных параметров моделирования во времени для создания дополнительных нештатных ситуаций;

- в ходе симуляции инструктор может задать значения ограничений поставки, потребления, насосов и клапанов, например: отказ насосной станции или останов отдельного насоса/компрессора; потеря или значительное изменение в точке поставки; потеря или значительное изменение в точке потребления; закрытие/открытие отсекающих задвижек.

Основные функции обучаемого в системе Atmos SIM Trainer:

- работа с конфигурацией сети, загружаемой по умолчанию;
- изменение обычных рабочих параметров управления сетью, например: заданные параметры насосной станции (включая запуск/останов насоса/компрессора); заданные параметры потребления или поставки; закрытие/открытие отсекающих задвижек;
- управление моделью: работа/останов/пауза; управление скоростью модели; например, после внесения изменения параметра в реальном времени (результаты изменения могут оказать значительное влияние

на функционирование через несколько часов), чтобы не ждать проявления изменения модели несколько «реальных» часов.

Как инструктор, так и обучаемый видят результаты и могут создавать тренды и графики.

Интересной особенностью тренажера, установленного вместе с он-лайн системой моделирования, является его актуальность. При работе системы даже по прошествии многих лет оператор будет иметь именно то, что в данный момент происходит на трубе, поскольку Atmos SIM Trainer может быть сконфигурирован для получения текущего состояния от on-line-модели Atmos SIM. Сценарии, которые используют фактические состояния, импортируемые из on-line режима Atmos SIM, могут быть созданы инструктором. Эта возможность делает тренажер реалистичным и достоверным.

Выводы

Точное моделирование трубопроводов может помочь операторам безопасно и экономически эффективно эксплуатировать трубопроводы. Несколько успешных on-line приложений продемонстрировали, что за счет дополнительной поставки кондиционного газа и оптимизации краткосрочных продаж можно получить дополнительную прибыль, окупающую продукт менее чем за год. Автоматизированный анализ пульсаций давления и средство формирования отчетов могут помочь крупным компаниям, эксплуатирующим жидкостные трубопроводы, сэкономить время и деньги при выполнении анализа критического давления. Кроме того, современное ПО для моделирования может быть использовано для комплексной подготовки и проверки знаний операторов трубопроводов.

Список литературы

1. Garry Hanmer, Susan Bachman and Gregory Lind. Pipeline Surge Analysis Studies // Материалы ежегодного совещания Группы компьютерного моделирования трубопроводов (PSIG), Балтимора, Мэриленд, США. 2014 г.
2. Garry Hanmer, James Munro, Ben Velde, Willy Postvoll. Application Benefit of the Online Simulation Software for Gassco's Subsea Pipeline Network // Материалы ежегодного совещания Группы компьютерного моделирования трубопроводов (PSIG), Прага, Чешская Республика. 2013 г.

Ксусе Джун Занг — доктор, управляющий директор компании, Гарри Ханмер — главный инженер систем моделирования,

Андрей Владимирович Сидоренко — менеджер по развитию бизнеса компании Atmos International. Контактный телефон (499) 918-41-40.

Принципиально новый тип детектора алкогольного опьянения представили "ЛАНИТ-Интеграция", "ИНСИСТЕМС" и ЛУИС+

Компании "ЛАНИТ-Интеграция", "ИНСИСТЕМС" (входят в группу компаний ЛАНИТ) и ЛУИС+ представили новый отечественный прибор, получивший название "Алкорамка".

"Алкорамка" — алкотестер нового поколения, предназначенный для использования на контрольно-пропускных пунктах режимных объектов. В основе технологии, разработанной НПП "Лазерные Системы" (Санкт-Петербург), лежит принцип оптической лазерной спектроскопии, которая дает изобретению убедительные преимущества: быстрота в применении, долговечность, возможность круглосуточной автономной работы в течение длительного времени. Эти и другие качества делают прибор незаменимым в сфере безопасности и массового экспресс-контроля.

В отличие от большинства существующих детекторов, "Алкорамка" использует новый тип датчиков, который позволяет сократить время анализа до 0,5 с (полный цикл измерения с учетом восстановления составляет не более 1,5 с). Это исключает возникновение очередей на КПП даже при большом скоплении народа. В приборе не используются никакие расходные материалы, он обладает сроком службы не менее 50 тыс. часов и практически не нуждается в техническом обслуживании. Компания "ЛАНИТ-Интеграция" финансировала проект по созданию промышленных образцов алкотестера. Инженеры "ИНСИСТЕМС" обеспечили его совместимость со всеми современными системами контроля и управления доступом (СКУД).

[Http://www.lanit.ru](http://www.lanit.ru) и www.in-systems.ru