



КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКОВ

Н.А. Захаров (Журнал "Автоматизация в промышленности")

Описываются принцип проведения компьютерной томографии для двухфазных потоков. Приводится ПО, используемое при измерениях. Указываются области применения данного метода измерения.

С развитием математики и вычислительной техники визуализация потоков жидкости, газа, двухфазных потоков становится эффективным инструментом исследования и измерений.

Применение компьютерной томографии для измерения расходов в трубопроводах разрабатывает и внедряет компания TomoFlow (г. Дорчестер, Великобритания). Эта фирма работает в тесной кооперации с компанией Process Tomography Ltd (PTL), (г. Чешир, Великобритания). Фирмы достаточно молодые – TomoFlow основана в 2001 г., PTL – в 2004 г.

Во многих ТП используются смеси продуктов, которые перекачиваются по трубам. Например, в промышленности сыпучие материалы (пластиковые гранулы, зерно, катализаторы...) продуваются по трубам сжатым воздухом или перекачиваются с жидкостью, в нефтяной отрасли при транспортировке на большое расстояние часто приходится иметь дело со смесью газа, нефти и воды. Такие транспортные системы очень эффективны. Но единственным способом измерения количества доставленного продукта является его разделение по фракциям, заполнение какого-либо резервуара и измерение массы или объема продукта в резервуаре. Это не связано с технологией перекачки, это особенность измерения расхода смесей в трубах, когда применение расходомера невозможно. Отсутствие расходомеров при решении подобных задач существенно повышает расходы (дополнительные трубы, клапаны, резервуары и взвешивающие механизмы) и мешает ходу ТП.

Компьютерная томография аналогична методике сканирования человеческого тела в медицине. Эта технология стала применяться в промышленности в конце 80-х гг. в трубопроводах, смесителях и других технологических установках; сегодня она широко распространилась в научных кругах. Регулярно, раз в два года собирается международный конгресс, посвященный компьютерной томографии, охватывающий свыше 100 участников.

Системы с многофазными потоками имеют большое практическое значение, а промышленная томография является одним из немногих методов, позволяющих измерять расход отдельных компонентов по доступной цене.

Компания TomoFlow разработала систему анализа потоков на основе двумерной емкостной томографии (Electrical Capacitance Tomography – ECT). ECT дает картину концентрации веществ в поперечном сечении двухфазного потока, не проводящих электричество. Скорость потока оценивается по прохождению продуктов в потоке между двумя плоскостями, расположенными вдоль трубопровода. Интегрирование скорости и концентрации продукта по поперечному сечению трубы дает объемный рас-

ход. Если известны плотности веществ, можно получить значения расхода масс.

Принцип измерения состоит в том, что поперечное сечение, которое следует изобразить, окружается одним или более круговыми наборами электродов, и проводятся измерения электрической емкости между всеми сочетаниями электродов в каждом наборе. Эта информация затем используется для воссоздания изображения содержимого сосуда, охваченного сенсором. Образ строится по вариациям диэлектрической проницаемости вещества в сосуде.

ECT наиболее эффективна при работе с такими веществами, как нефтепродукты, пластмасса, сухие порошки и, при благоприятных условиях, чистая вода, т.е. имеющими малую электрическую проводимость. Она также может быть использована для изображения пламени и процесса сгорания.

Емкостные электроды могут быть установлены или внутри, или снаружи сосуда. Если стенка сосуда является электрическим изолятором таким, как пластик, электроды устанавливаются на внешней поверхности трубы или сосуда. В этом случае измерение может быть искробезопасным. Сенсор окружен заземленным экраном, что минимизирует воздействие внешних полей на объекте. Число и размер используемых электродов зависит от приложения. Больше число электродов даст большее разрешение изображения, но чувствительность измерения будет низкой. Чувствительность может быть увеличена за счет применения более длинных электродов, но это снизит осевое разрешение. Если требуется высокое осевое разрешение, небольшое число коротких электродов может быть использовано совместно с отдельно возбуждаемыми осевыми гасящими электродами, которые препятствуют излишнему распространению электрического поля от концов электродов сенсора.

Изображения ECT обычно имеют относительно низкое разрешение (типичный размер 32x32 точки), но они могут быть записаны с высокой скоростью. При существующей технологии изображения могут быть записаны со скоростью, превышающей 100 кадров в секунду для 12-электродного сенсора, и показаны в РВ с темпом 25 кадров в секунду. Изображение ECT показывает распределение содержимого сосуда по его поперечному сечению, усредненное по длине электродов сенсора. Достижимое пространственное разрешение зависит от размеров и радиального положения измеряемого объекта, а также от отличия его диэлектрической проницаемости от проницаемости других веществ в трубе. Обычно объекты (или локальные изменения проницаемости) диаметром 5% от диаметра трубы или сосуда могут быть обнаружены при ус-

ловии достаточного контраста между диэлектрической проницаемостью объекта и окружающей его средой. Точность изображения зависит от способа его построения по результатам измерения емкостей между электродами. В настоящее время единственным достаточно быстрым для отображения в РВ алгоритмом построения изображения является метод линейного обратного проецирования. Он дает приблизительные изображения с качеством, приемлемым для большинства приложений. Для последующего построения изображений улучшенного качества могут быть использованы другие методы, например, итерационные методы вычислений или приложения на базе нейронно-сетевой технологии.

Если на трубе установлены на коротком расстоянии друг от друга два и более комплекта электродов, возможно измерение осевой скорости среды в трубе по корреляции информации от двух выборок, построенных по результатам измерений емкости изображений.

Tomoflow R100 фирмы Tomoflow – это система анализа многофазных потоков на основе технологии ECT. Пользуясь Tomoflow R100 с ПО Flowan, возможно:

- получить изображение смесей жидкость-жидкость или жидкость-твердые частицы;
- измерить скорость любой точки или участка поля потока целиком;
- исследовать детали структуры потока;
- измерить расход дисперсной фазы как функцию времени и пространства;
- измерить объем движущихся частиц.

Система анализа многофазных потоков Tomoflow R100 состоит из устройства измерения емкости, ПО сбора информации и построения изображения в РВ и ПО оффлайн-анализа многофазных потоков.

Измерительный блок емкостной томографии DAM200e изготавливается для Tomoflow фирмой PTL. Он обеспечивает измерение в двух отдельных плоскостях, в каждой устанавливаются до 12 электродов и до 12 гасящих электродов.

ECT32 – это всеобъемлющий пакет программ РВ для обработки данных от систем ECT фирм Tomoflow и PTL. ПО работает под управлением ОС Windows. Изображения могут быть показаны в реальном времени на экране, затем записаны и воспроизведены с заданной пользователем скоростью. Файлы данных могут быть использованы для анализа потока с применением Flowan.

Утилита обработки изображений IU2000 – это дополнительный набор оффлайн-инструментов для обработки и просмотра записанных данных ECT.

ПО Matect – это набор оффлайн-утилит Matlab для отображения и модификации схем чувствительности и генерации изображений с использованием этих схем. Схемы чувствительности используются при калибровке томографов.

Пакет программ Makemap рассчитывает точные схемы чувствительности для круговых сенсоров ECT с внутренними или внешними электродами.

*Хорошо выраженная мысль
звучит умно на всех языках.*

Драйден

ПО оффлайн-анализа многофазных потоков Flowan обеспечивает построение изображений и расчет параметров смесей жидкость-жидкость или жидкость-твердые частицы.

Система PTL300E фирмы PTL представляет собой инновационную систему емкостной томографии (ECT) под управлением ПО на платформе Windows, исполняемым на ПК Pentium. Изображение может регистрироваться с темпом свыше 100 кадров в секунду в режиме двух сечений для 12-электродного сенсора и с большим темпом для сенсоров с меньшим числом электродов (6 или 8). Система ECT показывает, записывает и воспроизводит изображения, построенные по изменениям диэлектрической постоянной среды внутри сенсора, что в случае смеси из двух диэлектрических веществ, отражает концентрацию вещества большей проводимости в смеси. Показываемые изображения приблизительны и обладают относительно низким разрешением, но, тем не менее, они могут дать хорошее представление о распределении и концентрации веществ внутри датчика.

Выпускаются два варианта системы ECT, предназначенные для использования с сенсорами, содержащими одну или две плоскости с измерительными электродами и комплектом гасящих электродов. С системой используются емкостные датчики, содержащие 6, 8 или 12 измерительных электродов. Обеспечивается измерение скорости и профиля потока через сенсор. В системе используется ПО фирмы Tomoflow.

Хотя устройство измерения емкости должно быть расположено рядом с емкостным сенсором, управляющий компьютер может быть расположен на удалении от датчика, он соединяется с устройством измерения емкости через Ethernet.

Применения системы PTL300E включают изображение кипящего слоя, горения, пневматическую транспортировку фазы высокой и средней плотности, потоков смеси нефти и газа и измерение профиля конденсата.

В химической, фармацевтической, нефтяной промышленности и сельском хозяйстве одним из наиболее часто используемых и энергетически эффективных способов транспортировки твердых частиц является перемещение их по трубам при помощи сжатого воздуха. Практически для этих систем не существует общепринятого способа измерения расхода, что обусловлено техническими сложностями, связанными с многофазными потоками, и тем, что в этих системах не предусмотрена установка расходомеров. Необходимые измерения делаются другими способами, обычно путем взвешивания продукта, накопленного за определенное время. Новые системы могут быть построены более эффективно, и многофазное измерение расходов может предложить большую гибкость процесса и заменить громоздкие взвешиваемые резервуары.

*Захаров Николай Анатольевич – канд. техн. наук,
член редакционного совета журнала "Автоматизация в промышленности".*

Контактный телефон (095) 980-73-80.

При подготовке обзора использовались следующие источники: www.tomoflow.com, www.tomography.com.