

ТРЕНАЖЕР: ОБНАРУЖЕНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

А. Л. Бурдяло, Е.И Громаков
Томский политехнический университет
Томский государственный университет
Samuel24rus@gmail.com

Введение

Современные производственные предприятия должны быть готовы к возникновению неисправностей в технологическом процессе и переходу к аварийному режиму работы. Неисправности могут возникать в датчиках, исполнительных элементах, в системе управления и в любых других частях технологического оборудования. Они могут быть любого вида и могут приводить к недопустимым ситуациям, таким как травмы персонала и ухудшение качества продукции.

Диагностика некоторых неисправностей сложна даже для опытных подготовленных операторов. Обнаружение и выделение неисправностей является важной частью процесса диагностики неисправностей в системе оператором. Регулярное обучение на тренажерах позволяет ему быть готовым, чтобы произвести необходимые действия в аварийной ситуации и тем самым уменьшить риск для персонала, а также сохранить деньги компании.

Целью данной работы является развитие методологии проектирования тренажера обнаружения и выделения неисправностей технологических установок в нефтегазовой отрасли.

Методы обнаружения неисправностей

При разработке систем автоматизации для выделения и идентификации неисправностей могут использоваться различные методы обнаружения неисправностей. Критериями для их оценки могут служить:

- Быстрое обнаружение;
- Хорошие свойства выделения, определения неисправности;
- Устойчивость к неопределенностям и шумам;
- Адаптируемость к изменениям в процессе;
- Низкие затраты на разработку и обслуживание;
- Возможность определять несколько неисправностей, возникших в одно время.

Различные методы имеют свои недостатки и преимущества в сравнении друг с другом. Все методы делят на три категории – основанные на количественных моделях, основанные на качественных моделях и методы, основанные на истории процесса.

Методы, основанные на количественных моделях

Данные методы в процессе определения и выделения неисправностей оперируют с невязками. Один из способов их получения – дублирование

аппаратуры и датчиков процесса. При этом невязки будут получаться как разница между показателями аппаратуры. Так один из аппаратов можно считать неисправным, если два или более датчиков контроля его состояния показывают существенно различающиеся значения. Невязки, полученные таким образом, называют физическими. Другой способ получения невязок – использование модели процесса. Выходные сигналы модели сравниваются с измерениями, полученными из реальной модели. Невязки, полученные таким образом, называют аналитическими. Преимуществом такого способа является отсутствие нужды в дополнительном дорогостоящем оборудовании. При ситуации, соответствующей установленным требованиям, невязки близки к нулю, в процессе нет неисправностей. Результатом возникновения неисправностей являются большие невязки.

Обобщенная структура системы диагностики неисправностей для количественных моделей представлена на рисунке 1.

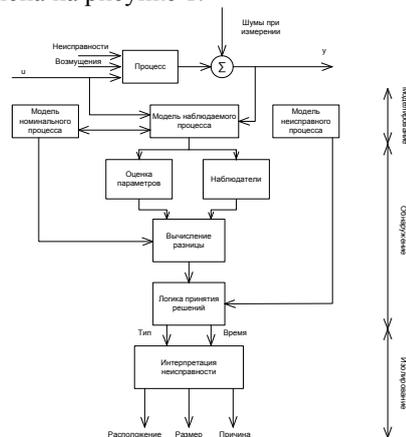


Рис. 1 Обобщенная структура системы диагностики неисправности для количественных моделей

В количественных моделях для реализации обнаружения и выделения неисправностей используются математические модели в явном виде. Большинство методов использует линейные дискретные модели в виде черного ящика, такие как вход-выходные модели и модели в пространстве состояний. Такие модели без неисправностей, возмущений и шумов представляются в виде

$$x(k+1) = \Phi x(k) + \Gamma u(k) \\ \hat{y}(k) = Cx(k) + Du(k),$$

где $u(k)$ – входной сигнал, $\hat{y}(k)$ – выход модели, $x(k)$ – вектор состояния. Φ , Γ , C и D матрицы соответствующего размера. Используя импульсный

оператор преобразования $H(q)$, можно записать систему как

$$\hat{y}(k) = (C(qI - \Phi)^{-1}G + D)u(k) = H(q)u(k) = \frac{B(q)}{A(q)}u(k),$$

где q – оператор смещения.

Тогда невязки

$$\tilde{r}(k) = y(k) - \hat{y}(k) = [I \quad -H(q)] \begin{bmatrix} y(k) \\ u(k) \end{bmatrix}$$

Для выделения неисправности полученные невязки анализируются с помощью блока логики принятия решений.

Наиболее часто используемые методы для получения невязок являются методы с наблюдателями или фильтрами Калмана, используемыми для оценки состояния процесса. Методы базируются на использовании набора наблюдателей, в котором каждый из наблюдателей чувствителен к подмножеству возможных неисправностей и в то же время он нечувствителен к остальным неисправностям и к неизвестным входным воздействиям. Если в процессе нет неисправностей, все наблюдатели должны идеально отслеживать процесс, а невязки должны быть близки к нулю. При появлении неисправности только те наблюдатели, которые чувствительны к данному типу неисправностей, должны давать большие невязки, в то время как остальные невязки должны быть малы. Характер невязок используется для уточнения причины неисправности.

Методы, основанные на качественных моделях

В подходах качественных методов система представляется не в виде динамических связей между входами и выходами, а в форме качественных функций или связей, описывающих процесс. Такие функции могут описывать как меняется процесс (на пике, на спаде, увеличивается, уменьшается). Один из методов данной категории – это экспертные системы, которые содержат базы знаний, обычно построенные в виде «если-то-иначе» правил, и систему логических выводов, которая использует базу знаний для выдачи заключения о том, какие события вызвали текущее состояние. Другой метод из данной категории – знаковый орграф. Знаковый орграф — это набор узлов, представляющих переменные, и направленных дуг, которые описывают причинно-следственные связи. Плюс или минус на дуге представляет коэффициент усиления между двумя переменными. Коэффициент усиления +1 говорит о том, что две переменные изменяются в одном направлении. Пример знакового орграфа представлен на рисунке 2.

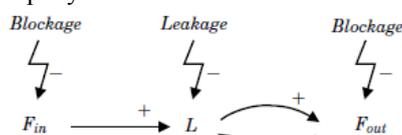


Рис. 2 Пример знакового орграфа

Также одним из методов может быть анализ дерева неисправностей (АДН). АДН состоит из блок-схем, которые дают графическое представление где могли появиться неисправности – в проекте, в процессе или в продукте. АДН по своей сути является методом поиска сверху вниз. Поиск начинается с события «неисправность» и проходит сквозь все подсистемы, компоненты и условия технологического процесса, которые могли привести к данной неисправности. Структура дерева зачастую представляет из себя логическую схему из элементов И или ИЛИ.

Методы, основанные на истории процесса

Данные методы не используют знания о процессе и законах функционирования системы, для анализа используются измерения и опыт, полученные из прошлых удачных выполнений процесса. Методы статистического управления и многомерного статистического контроля процесса, базирующиеся на принципах компонентного анализа, являются наиболее часто используемыми методами. Измерения рассматриваются как ряды статистических данных, в которых наблюдения распределены случайно. Распределения меняются, когда система выходит из-под контроля [1].

Существуют также другие методы, такие как анализ характера и последствий неисправностей и метод изучения опасных факторов и работоспособности (HAZOP-анализ), которые сложны для автоматизации либо не имеют возможности предоставлять информацию о неисправностях в реальном масштабе времени.

Подготовка операторов

В нефтегазовой отрасли работа операторов с автоматизированным технологическим процессом, с системами обнаружения и выделения неисправностей требует определенного уровня подготовки, поэтому использование компьютерных тренажеров, построенных на базе реальных производственных систем, является неотъемлемой частью подготовки современных специалистов в области управления технологическими процессами. Компьютерные тренажеры позволяют эффективно проводить подготовку специалистов при безопасных для окружающей среды и персонала условиях с минимальными затратами на воспроизведение реальной производственной системы.

При построении компьютерных тренажеров для подготовки операторов к работе с системами автоматизированной диагностики могут использоваться различные модели реальных производственных процессов. Выбор метода диагностики и типа модели зависит от условий протекания процесса и моделируемой производственной системы. Особого внимания заслуживают дискретно-событийные модели процессов.

Дискретно-событийные модели позволяют анализировать причинно-следственные связи в системе, взаимосвязь событий и их влияние на состояния элементов системы и системы в целом.

Дискретно-событийные модели применимы для систем, описание которых в виде дифференциальных уравнений сложно или невозможно. Для модельного описания таких систем могут быть применены конечные автоматы или сети Петри. Использование конечных автоматов оказывается сложным для разветвленных автоматизированных систем управления, в то время как сети Петри являются более гибким аппаратом моделирования. С помощью возможностей программного пакета LabVIEW дискретно-событийная модель объекта системы может быть внедрена в привычную структурную схему автоматизированной системы управления технологическим процессом в виде специального НМИ – блока обучения оператора.

Дискретно-событийные модели стандартных неисправностей, характерных для объектов управления в нефтегазовой отрасли, в виде шаблонов могут применяться при реализации тренажеров для подготовки операторов, а также как модели для формирования невязок в соответствии с выбранными диагностическими методами.

Сети Петри

В качестве примера моделирования дискретно-событийных систем с помощью сетей Петри проведем моделирование элементов насосной площадки дожимной насосной станции. Основными элементами насосной площадки являются задвижки и насос.

Сеть Петри N для каждого элемента будет определяться четырьмя составляющими [2]:

$$N = (P, T, Pre, Post),$$

где P - множество позиций, T – множество переходов, $Pre: P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ -входная весовая функция, $Post: P \times T \rightarrow \mathbb{N}$ - выходная весовая функция.

Тогда для задвижек:

$$N_v = (P_v, T_v, Pre_v, Post_v),$$

где $P_v = \{VI, VC, VO, VS\}$, $T_v = \{t_{v1}, t_{v2}, \dots, t_{v10}\}$. Элементы P_v - это соответственно «Начальное состояние», «Задвижка закрыта», «Задвижка открыта», «Задвижка застряла/неисправна». Событиями (переходами) являются: закрытие задвижки (cv), открытие задвижки (ov), неисправность механизма задвижки или исчезновение питания привода задвижки (f). На рисунке 3 представлено графическое изображение сети Петри, описывающей работу задвижки.

Полученные шаблоны объединяются в контур исполнительного блока системы управления путем установления связей событий задвижки с событиями насоса и их общих состояний.

На следующем этапе в сеть Петри вносят событийность, связанную с датчиками и другими компонентами результирующей автоматизированной системы управления технологическим процессом. Затем производится перестроение сети Петри и на основе результирующей сети строится диагностический модуль.

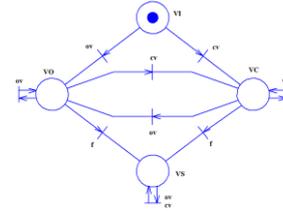


Рис. 3 Модель задвижки в виде сети Петри

Аналогичным образом составляется модель в виде сети Петри для насоса.

Примером диагностического модуля с выделением отдельных шаблонов (A, B, C и т.д.) может выступать сеть, показанная на рисунке 4 [2].

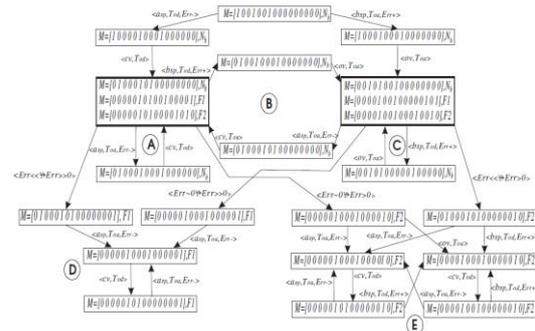


Рис. 4 Пример диагностического модуля

Полученная модель и диагностический модуль могут быть промоделированы с помощью модуля Matlab Stateflow и реализована в виде НМИ - модуля тренажера в LabVIEW. Возможности обоих программных пакетов позволяют симулировать непрерывную составляющую эксплуатации технологических установок с их дискретной событийностью. В ходе виртуального отображения особенностей эксплуатации технологических установок отслеживается реакция диагностического модуля на изменения режима работы системы: правильно построенный диагностический модуль обнаруживает и распознает генерируемые неисправности.

Выводы

Предложенное совершенствование методологии построения тренажеров операторов в нефтегазовой отрасли позволяет упростить разработку модулей обнаружения и выделения неисправностей. Тренажеры с использованием НМИ модулей на основе сетей Петри позволяют осуществлять тренаж операторов по месту их работы и повысят подготовленность операторов к аварийным ситуациям.

Литература

1. Olsson, P. Batch Control and Diagnosis – Lund, Sweden: Lund Institute of Technology, 2005. – 248.
2. M. Manyari-Rivera, J. Carlos Basilio. Integrated Fault Diagnosis Based on Petri Net Models, IEEE International Conference on Control Applications – Сингапур, 2007. – С. 958-963.
3. Java Platform, Enterprise Edition (Java EE) Technical Documentation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.oracle.com/javase/>, свободный