

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИДЕАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

К. т. н. А. Н. Тыныныка

Одесский национальный политехнический университет
Украина, г. Одесса
polalek562@gmail.com

Собраны, оценены и расширены имеющиеся в литературных источниках требования к характеристикам систем диагностики сложных технологических процессов и оборудования для облегчения сравнения эффективности различных систем. Свод требований полезен пользователям и разработчикам, выбирающим систему, для создания полного диагностического классификатора и совершенствования систем.

Ключевые слова: технологический процесс, обнаружение и диагностика нарушений, требования к характеристикам.

Множество разных подходов к построению диагностических систем затрудняет потенциальным пользователям выбор системы под конкретную диагностическую ситуацию. Для того чтобы сравнивать описанные [1—3] и вновь разрабатываемые диагностические подходы, полезно определить набор желательных характеристик, которыми диагностическая система должна обладать. В таком случае даже основанные на несопоставимых подходах системы могут быть оценены на соответствие такому набору требований в дополнение к стандартным требованиям [4, 5]. Хотя все сведенные вместе требования к характеристикам вряд ли присущи какой-либо существующей диагностической системе, такой свод может быть полезным для сравнения различных методов с точки зрения объема априорной информации, надежности решения, широты применимости, эффективности вычислений и т. д., также для создания полного диагностического классификатора, связывающего набор возможных отклонений производственного процесса и прогнозируемые причины их возникновения. Полнота классификатора требует уменьшения уровня разрешения при контроле, повышения чувствительности датчиков. Таким образом, существует компромисс между полнотой и разрешением, компромисс в точности прогнозов.

Ниже представлен набор желательных характеристик диагностических систем. Требования к ним не зависят от метода получения информации и от выбора контролируемых параметров.

1. Быстрое обнаружение и устойчивость. Диагностическая система должна быстро реагировать на нарушения процесса и в то же время быть устойчивой к так называемым технологическим шумам. Резкие колебания параметров технологических процессов в некоторых пределах при нормальной работе на достаточно продолжительном интервале не должны приводить к сигналам тревоги и вмешательству в ход процесса. Такие случаи не являются в прямом смысле ложным срабатыванием, но последствия такие же.

2. Инвариантность. Имеется в виду устойчивость к внешним воздействиям на технологический процесс или работающее оборудование и к изменениям режима работы.

3. Разрешающая способность и изолируемость. Разрешающая способность — это способность диагностической системы видеть различие между разными нарушениями, изолируемость (isolability у англоязычных авторов [2]) в идеальных условиях, без шума и модельной неопределенности, сводится к тому, что диагностическая система нечувствительна к не проявившимся в достаточной мере неисправностям. Конечно, успех в проектировании классификаторов с четко различимыми признаками в значительной степени зависит от характеристики процесса. Необходим также компромисс между изолируемостью и размахом неопределенностей моделирования. Большинство классификаторов работают с различными формами избыточной информации, и, следовательно, существует лишь ограниченная степень свободы для разработки классификатора. Потому классификатор с высокой степенью изолируемости обычно допускает большой размах неопределенностей моделирования, и наоборот.

4. Однозначность.

Однозначность запрещает экстремум диагностического параметра D , т. е. должно выполняться неравенство $dD/dT \neq 0$, где D — диагностический параметр, T — параметр технологического процесса (оборудования); в противном случае два или больше значений параметров технологического процесса будут соответствовать одному значению диагностического параметра.

5. Робастность.

Система должна иметь хорошие характеристики, например запас устойчивости, в работе с объектом диагностирования с неизвестной или неполной математической моделью и содержащей неопределенности. Таким образом, робастность нужна, чтобы сбалансировать характеристики.

6. Стабильность.

При неизменных условиях контроля диагностический параметр характеризуется определенным рассеянием. Стабильность оценивают по наибольшему отклонению от центра рассеяния.

7. Идентификация новизны.

Одно из минимальных требований к диагностической системе заключается в том, что она должна не только отличать нормально функционирующий процесс от ненормального, но и понимать, содержится ли неисправность в диагностическом классификаторе или же это неизвестная, новая неисправность. Успех такой идентификации зависит от совершенства динамической модели контролируемого технологического процесса или сложного технологического оборудования и от надежной работы датчиков. Данных для моделирования нормального течения процесса в общем может быть достаточно, но тем не менее в некоторых случаях предыдущих замеров параметров процесса может не хватить для удовлетворительного моделирования аномальных областей. Также могут быть доступны несколько различных шаблонов предыдущих данных, охватывающих участки ненормальной области, т. е. возможно, что часть области ненормальных операций будет смоделирована неадекватно. Это создаст серьезные проблемы в обеспечении свойства идентификации новизны. Но даже в таких усложненных условиях хотелось бы ожидать от системы диагностики достаточной способности распознать новую неисправность и не классифицировать ее как одну из известных или же работу как нормальную.

8. Оценка погрешности классификации.

Важное практическое требование к диагностической системе заключается в доверии пользователя к ее надежности. Его удовлетворение может быть значительно облегчено, если диагностическая система способна предоставить априорную оценку возможной ошибки классификации. Такие оценки позволили бы спроектировать уровни доверия к диагностическим решениям системы, позволяющие пользователю лучше чувствовать надежность рекомендаций от системы.

9. Адаптивность.

Производственные процессы меняются и развиваются в результате изменений на входах или структурных изменений из-за модернизации. Условия протекания процесса производства нестабильны не только из-за помех, но и из-за изменения условий окружающей среды, к которым можно отнести колебания объемов производства, качества сырья и пр. Диагностическая система должна быть адаптируемой к изменениям. Следует постепенно расширять сферу применения системы к новым случаям и ситуациям по мере того, как больший объем информации становится доступным.

10. Обоснование рекомендаций.

Помимо определения источника неисправности диагностическая система также должна выдавать пояснения того, как ошибка возникла и с помощью какого механизма повлияла на текущую ситуацию. Это очень важный фактор в проектировании любых систем поддержки принятия решений. Такая функция требует развитой способности связывать причины и следствия в диагностируемом процессе. Обоснование рекомендаций необходимо для того, чтобы оператор увереннее их использовал в дополнение к своему опыту. Желательно, чтобы диагностическая система не только указывала, почему были предложены определенные гипотезы, но также объясняла, почему некоторые другие гипотезы были отклонены.

11. Трудоемкость моделирования.

Трудозатраты на моделирование при разработке диагностического классификатора должны быть минимально возможными.

12. Время вычислений и хранение информации.

Обычно быстрые решения в реальном времени требуют вычислительно менее сложных алгоритмов, но обязательно нужно оценить объем поступающей на хранение информации. При выявлении противоречий необходим разумный баланс этих конкурирующих требований.

13. Идентификация множественных неисправностей.

Способность идентифицировать множественные неисправности является важным, но трудно-выполнимым требованием. Это сложная проблема из-за возможного взаимодействия появляющихся нарушений. В нелинейной системе взаимодействие причин нарушений может дать синергетический эффект, и тогда диагностическая система не вправе использовать модели отдельных неисправностей. Разработка же моделей для множества различных комбинаций ошибок привела бы к запредельной сложности системы диагностики больших технологических процессов. В любом случае анализ взаимосвязанных характеристик необходимо проводить совместно. Общие требования на сбор и анализ этих данных, методы контроля, критерии и границы зон состояний и другие важные факторы регламентированы в стандарте [4].

14. Риск повреждения технологического оборудования от воздействия неисправности.

Система окажется весьма полезной пользователю, если количественно оценит риск повреждения оборудования в том случае, если устранение неисправности затягивается.

15. Информативность.

По этому показателю можно оценивать отдельные диагностические признаки и всю диагностическую систему. Информативность I_i диагностического признака оценивается уменьшением исходной энтропии H_T на величину H_i в результате использования полученной информации: $I_i = H_T - H_i$. Информативность i -го диагностического признака по сути есть вероятность правильного диагностирования на его основе.

16. Полнота контроля.

Этот показатель можно вычислить отношением $f = I_i/H_T$.

17. Обобщенный критерий качества.

Таким критерием может служить сумма предыдущих показателей, выраженных в баллах. Особенно это важно при проведении первоначальной экспертизы объекта (в противоположность эксплуатационному производственному контролю). Кроме того, для оценки может быть использован информационно-стоимостный критерий — отношение приращения энтропии ΔH к стоимости k -й проверки C_k : $v = \Delta H/C_k = I_i/C_k$. Величина C_k состоит из стоимости средств диагностирования, эксплуатационных затрат и затрат на устранение нарушения.

Представленный свод требований может быть полезен потребителям при выборе существующих и заказчикам новых диагностических систем. Сравнение конкретной системы со сводом требований позволяет оценить эффективность системы то ли по соответствию отдельным требованиям, то ли на основании обобщенного критерия качества.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Z. Ge, Z. Song and F. Gao. Review of recent research on data-based process monitoring// Ind. Eng. Chem. Res.— 2013.— Vol. 52, №10.— P. 3543—3562.
2. Gertler J. Fault detection and diagnosis in engineering systems.— New York: Marcel DekkerInc., 1998.
3. Krüger U., Xie L. Statistical monitoring of complex multivariate processes: With applications in industrial process control.— Chichester, West Sussex; Hoboken, N.J: Wiley, 2012.
4. ISO 17359:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines.
5. ISO 13379:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques.

A. N. Tynnyka

Characteristics of the ideal fault diagnostic system

In order to facilitate the comparison of different systems in terms of efficiency, the author collects, evaluates and expands the already published requirements to the diagnostic systems of complex technological processes and equipment. Such set of requirements may help users and developers selecting a system to create a complete diagnostic classifier and improve the systems.

Key words: technological process, fault detection and diagnosis, requirements for characteristics.