

Об одном подходе построения систем диагностического обеспечения и технического обслуживания производственных систем

*К.Д. Курбанмагомедов,
зав. каф. ИТ, к.т.н., проф., kurbandin@mail.ru,
УВО «Институт системных технологий», г. Махачкала,
М.А. Мутаев,
асп., MutaevMA@nvr.tih.nvr.transneft.ru,
ДГТУ, г. Махачкала*

В статье рассматривается вопрос оценки и обеспечения технологической надежности производственных систем, основанный на моделировании технологической операции, оценки ее входных и выходных параметров и построении на их основе модели технологического процесса. Предлагается методология построения систем диагностического обеспечения и технического обслуживания производственных систем.

The article discusses the issue of assessing and ensuring the technological reliability of production systems, based on modeling a technological operation, evaluating its input and output parameters and building a process model based on them. A methodology for constructing systems for diagnostic support and maintenance of production systems is proposed.

Классический подход к оценке надежности энергетических, металлургических, машиностроительных систем предполагает расчет надежности на стадии проектирования, разработка стратегии планово-профилактического технического обслуживания и ремонта после технического контроля и диагностирования. При этом учитываются режимы функционирования, нагрузки, статистические данные результатов испытаний элементов системы, расчетные данные периодов и длительности проверок оборудования. Рассчитываются также показатели надежности оборудования такие как, вероятность безотказной работы, наработка на отказ, значения предельного состояния, коэффициенты готовности и технического использования. Выбирается также наиболее подходящий для данного оборудования, в котором происходят случайные события и процессы, закон распределения случайных величин. Эти вопросы достаточно подробно решены в классической литературе по надежности, в частности, для оборудования электроэнергетических систем и отражены в нормативных документах, ГОСТах, РД, технических регламентах, в периодической печати, в научной, учебной и справочной литературе. Рассматриваемое оборудование для общности будем называть технологическим оборудованием, а систему, в которой функционирует оборудование технологической системой. Следовательно, технологическая система (ТС) является сложной системой, состоящей из технологического оборудования (ТО) и технологического процесса (ТП).

Для обеспечения должного уровня надежности и качества технологии производства продукции и управления качеством необходимо детальное изучение явлений, протекающих в ходе технологического процесса. Однако проведение с этой целью активных экспериментов часто либо вообще невозможно из-за вероятных катастрофических последствий, либо экономически невыгодно. В таких случаях технологические процессы исследуют с помощью математического моделирования.

Следует отметить, что обеспечение надёжности ТО является частью проблемы надежного функционирования всей ТС. Трудности в обеспечении и реализации технологического процесса связаны с большой сложностью ТС, с наличием многочисленных и разнообразных взаимосвязей и с высокими требованиями к его надежности.

Поэтому для достижения заданного уровня надежности ТС должны решаться следующие задачи:

- обеспечение надежности всей ТС, предназначенной для производства какого-либо изделия или электроэнергии, и надёжности реализации разработанных технологических процессов с использованием ТО;
- оценка соответствия результатов реализации ТП в реальном времени требованиям ТУ к параметрам ТП.
- оценка соответствия требований ТУ высоким требованиям по обеспечению надежности, требуется ли обратная связь для коррекции технологического процесса и его адаптации под конкретные требования надежности;
- соответствует ли выбранная номенклатура оборудования требованиям по обеспечению качества выпускаемой продукции, надежности всей ТС и требованиям к качественной реализации ТП;
- решение вышеперечисленных задач при различных ситуациях, имеющих место в ТС, ее реконфигурации, организации соответствующих переключений, организации адаптивного аппаратно-программного управления.

Если расчёт надёжности элементов ТС проводится однократно или в каких-либо критических ситуациях, то расчёт анализ и оценку ТП необходимо проводить непрерывно. В связи с имеющим место высокой чувствительностью и зависимостью выходных параметров от изменения режимов и условий протекания ТП такую, как формирование выходных параметров продукции в процессе ее изготовления, имеет место специфика, связанная со структурой технологического процесса, методами контроля, надежностью осуществления отдельных операций и переходов.

В отличие от классической схемы расчета надежности, характерной и используемой для расчета надежности ТО, при расчете надежности ТП необходимо учитывать особенности выполнения технологических операций, переходов между операциями, выбор необходимого количества выходных параметров, а также обеспечить заданный уровень качества выпускаемой продукции при заданной производственной программе выпуска продукции. Таким образом, под надежностью технологического процесса понимается обеспечение заданного объема продукции, удовлетворяя во времени требования по обеспечению качества изделия. Безотказность технологического процесса будет напрямую зависеть от безотказности от того, чтобы все параметры изготовленного объекта находились в пределах допуска.

Это задача является достаточно и специфической, так как необходимо через параметры косвенно контролировать множество заданных параметров выпускаемой продукции у всей программы выпуска в любой момент времени.

Кроме того, для всех из необходимого количества операций и переходов имеются свои параметры, которые необходимо выдерживать в определенных пределах.

Рассмотрим модель технологической операции и технологического процесса.

В общем случае построение модели производства на основе уравнений физико-химических законов процессов, протекающих на каждом этапе технологического цикла, затруднено, так как они имеют сложную и разнообразную природу и часто в полной мере не могут быть описаны даже системами сложных интегральных и дифференциальных уравнений. Связь между технологией производства и качеством получаемой продукции может быть выявлена с приемлемой точностью статистическими методами по информации, накапливаемой о производстве в ходе его нормального функционирования. Для описания зависимости свойств продукции от технологии производства применяют детерминированные функциональные зависимости вида $y=f(X)$, где y — одно из свойств продукции, f — сложная функция многих переменных, X — вектор технологических параметров. Для определения вида функции f используется массив накопленной технологической информации, содержащий наборы значений технологических параметров X и значений свойств Y продукции, полученной при реализации рассматриваемой технологической схемы. Задача состоит в том, чтобы построить для каждого свойства продукции такое отображение $f: X \rightarrow y$, при котором значение $y_m=f_m(X)$, выдаваемое моделью, было бы наиболее близко к значению моделируемого свойства продукции $y=f(X)$, полученной при реализации технологии. Традиционно функции f получают в виде линейных по параметрам регрессионных моделей или других моделей, например, нейросетевые модели или модели массового обслуживания.

При построении модели технологической операции необходимо учитывать параметры самой операции, исходного сырья и получаемых при этом полуфабрикатов.

Вероятность безотказной работы всего ТП не определяется простым произведением таких же вероятностей для отдельных операций, так как она должна быть значений отдельных операций. Это определяется следующими особенностями/1/:

- конечные операции технологического процесса играют особую роль, поскольку именно там изделие приобретает окончательные свойства и заданную форму;
- лишь часть выходных параметров промежуточных операций переходит в разряд окончательных;
- вместе с тем из-за явлений технологической наследственности на часть выходных параметров оказывают влияние характеристики промежуточных операций;
- характеристики материала, заготовок и комплектующих изделий, которые не подвергаются входному контролю, могут повлиять на значения выходных параметров изделия;
- при осуществлении техпроцесса используются контрольные операции, которые могут обнаруживать и не допускать появления параметров, не удовлетворяющих ТУ. Контрольные операции с позиции классической теории надежности играют роль резервных элементов.

Такие требования к контролю технологического процесса предполагают решение оптимизационной задачи, где необходимо учитывать ограниченные возможности процесса контроля по достижению достаточного уровня глубины контроля и достоверности контроля. В то же время необходимо решить вопрос экономической целесообразности выбора того или иного объема контрольных процедур и объема и сложности самого контрольного оборудования.

Решение такой оптимизационной задачи позволяет выбрать минимум контрольных операций. При этом имеет важную роль оценка структуры связей и взаимозависимости контролируемых и не контролируемых параметров, их непосредственное влияние на качество выпускаемой продукции.

Надежность технологического процесса на данной позиции может быть повышена за счет операции контроля всех q параметров или части из них. Надежность каждой контрольной операции зависит от метода контроля (сплошного или выборочного) и от совершенства измерительной системы. Поскольку контрольная операция K , играет роль дублирующего элемента, то вероятность безотказного обеспечения выходных параметров на данной позиции будет по все m выходным параметрам/1/

$$P(t) = \prod [1 - (1-p_n)(1-p_k)],$$

где p_n - вероятность получения данного X -го параметра в пределах допуска, p_k - надежность контрольной операции по измерению данного параметра.

Если данный параметр не контролируется, то $p_k = 0$ и вероятность его обеспечения целиком определяется надежностью данной технологической операции.

Для абсолютно надежного контроля вероятность правильного измерения $p_k = 1$, что дает возможность исключить изготовление изделия с недопустимым значением измеряемого параметра т.е. дает возможность отбраковать эту деталь или исправить ее. Из всех m выходных параметров данной технологической позиции лишь часть из них будет входить в перечень выходных параметров всего изделия. Но все параметры, полученные в результате обработки на j -й позиции, будут входными для последующей $(j+1)$ -й технологической позиции, и их значения влияют на надежность остальных этапов технологического процесса.

Особое значение имеет контроль выходных параметров последней завершающей стадии технологического процесса, когда могут контролироваться параметры, полученные не только на этой операции, но и те, которые сформировались (и частично уже контролировались) на предыдущих операциях. Функции контроля будут выполнять также испытания изделия, проводимые после его изготовления, сборки и отладки.

При оценке надежности всего технологического процесса следует учитывать также, что отклонение от установленных выходных параметров может быть связано с недостаточным качеством заготовок и комплектующих изделий, и материалов, когда входной контроль которых не полностью обнаруживает их дефекты (вероятность p_k оценивает эффективность входного контроля). Кроме того, должны быть обнаружены отклонения, причины появления которых связаны с технологической наследственностью/1/.

Исходя из вышесказанного, можно получить следующую формулу для оценки вероятности получения контролируемых выходных параметров изделия в заданных пределах в результате осуществления всего технологического процесса его изготовления m_1

$$P(t) = p_{вх} \prod [1 - (1-p_n)(1-p_k)],$$

где m_1 - число регламентированных выходных параметров изделия, полученных в результате осуществления данного технологического процесса, p_n - вероятность получения каждого из m_1 выходных параметров в пределах

допуска; p_k - надежность соответствующей контрольной операции по измерению данного параметра; $p_{вх}$ - надежность обеспечения входных параметров. Особенности такого подхода к структурированию параметров являются:

- в перечень m_1 выходных параметров входят как m' параметров, полученных в результате обработки на последней позиции, так и параметры, полученные на предыдущих позициях;
- контроль охватывает не все параметры, хотя возможен повторный контроль тех параметров, которые уже контролировались на промежуточных операциях, что существенно повышает надежность технологического процесса применительно к параметрам с повышенными требованиями;
- надежность технологического оборудования, как и любой машины, изменяется в процессе эксплуатации, поэтому значения p_n и p_k , а следовательно, и $P(t)$ всего технологического процесса, являются функциями времени.

Высокие требования к надежности технологического процесса могут быть выполнены в том случае, если обеспечен запас надежности по каждому из основных параметров, и вся организация производства направлена на получение бездефектной продукции.

Не в увеличении числа контрольных операций, а в создании таких технологических систем, которые обладают более высокими возможностями по изготовлению прецизионных изделий, заключается основное направление для решения этой задачи. Такой путь особенно необходим при освоении новых образцов изделия с более высокими требованиями к их техническим характеристикам.

Часто отказы, связанные с технологией, возникают потому, что ее возможности не соответствуют возросшим требованиям к изделию, и не создан запас надежности. В результате параметры техпроцесса становятся близкими к предельным.

Уровень технологического процесса должен соответствовать требованиям, предъявляемым к качеству и надежности изделий.

Решающее влияние на надежность технологического процесса и создание запаса надежности оказывает также автоматизация технологического процесса.

Однако, указанные подходы не позволяют существенно уменьшить так называемые скрытые отказы. Это приводит к выпуску бракованной продукции, снижению ее качества, к невозможности получения и наличия достоверной информации о состоянии ТС/2/.

В связи с этим целесообразными являются следующие мероприятия, обеспечивающие с точки зрения авторов управление надежностью ТС во всем технологическом цикле/3,4/:

- оценка надежности не только ТО, но и ТП на всех стадиях жизненного цикла производства продукции;
- построение математических моделей диагностики ТО и ТП с целью их использования при анализе состояния не только ТО, но и ТП;
- моделирование ТО и ТП на стадии реализации производственного процесса с целью уменьшения скрытых отказов и управления качеством выполнения ТО и, в конечном итоге, качеством продукции т.е вычислительного процесса в компьютерных системах, электрической энергии, нефтепродуктов или их транспортировки и передачи.

Исходя из этого предлагается подход, основанный на моделировании производственных систем на стадиях проектирования и эксплуатации. На стадии проектирования применяются методы модульного представления производственных систем, оценки степени неопределенности анализа их состояния на основе теории информации, представления процессов, происходящих в данного типа объектах, как регенеративных процессов и основывающиеся на модели производственных систем в виде ТС и ТП.

На стадии эксплуатации производственная система представляется как система автоматического регулирования с обратной связью, где в качестве модели используется управляемая полумарковская цепь. В качестве модели оценки надежности используется модель дублированной системы с горячим резервированием, где в качестве резервного элемента используется система диагностического моделирования ТС и ТП.

Литература

1. Проников А.С. Параметрическая надёжность машин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. -360 с.
2. Каштанов В.А., Медведев А.И. Теория надёжности сложных систем. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010-608 с.
3. Курбанмагомедов К.Д. О вероятностном обосновании адаптивного диагностического моделирования систем с разрядно - модульной организацией. - Труды Международной научно-практической конференции «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии», 2017.
4. Мутаев М.А. Адаптивный алгоритм моделирования поиска и развития слоистых трещин в трубопроводных системах. - Труды Международной научно-практической конференции «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии», 2017.