## Определение оптимального уровня надежности производственной системы

Технологический процесс (ТП) изготовления изделий должен с наименьшими временными и материальными затратами обеспечить требуемый уровень качества машин.

**ТП оказывает непосредственное влияние на показатели изделия:**

* Качество.
* Надежность.

Хотя эти связи сложны и многоэтапны, поэтому анализ эксплуатационной надежности различных изделий показывает, что 25-40 % их отказов вызвано дефектами производства [1, 2].

Однако вопросы взаимосвязи надежности изделия с качеством ТП решены недостаточно.

Анализ исследований и практических разработок, которые ведутся в области повышения надежности изделий за счет технологии, показывает, что не всегда имеется четкое представление о том круге вопросов, которые должна решать технология [1, 2, 3].

### Топология отказов в технологической системе

**Статистика отказов, связанных с несовершенством ТП позволяет выделить три группы причин [1, 3]:**

* Первая группа связана с несовершенством технологической документации, с недостатками методов контроля и испытания на надежность готового изделия.
* Вторая группа причин возникновения отказов связана с остаточным и побочным явлениями, порождаемыми ТП.
* Третья группа связана с недостаточной надежностью самого ТП.

В связи с этим при решении вопроса о повышении эксплуатационной надежности машин определенную актуальность приобретает исследование качества самих ТП, и в первую очередь, управления их надежностью. ТП, особенно в автоматизированном производстве, относится к сложным большим системам.

Специфические особенности ТП, с одной стороны, затрудняют решение обеспечения требуемого уровня надежности, а с другой стороны, обладать целым рядом положительных свойств.

Трудности связаны с большой сложностью технологических систем, наличием многочисленных и разнообразных взаимосвязей, характеризующимися стохастический природой, с высокими требованиями к надежности.

**С другой стороны, возможность структурного и параметрического изменения технологической системы (ТС) и ее элементов в частности:**

* Введение новых операций.
* Изменение последовательности операций.
* Введение дополнительного контроля.
* Изменение требований к технологическим операциям.
* Изменение технологических параметров.
* Резервирование элементов системы.
* Планирование профилактических ремонтов.

Возможность адаптации технологических систем облегчает задачу обеспечения высокой надежности технологических систем.

Одной из характеристик особенностей ТП является взаимозависимости его качественных и количественных показателей.

Нередко эти две характеристики ТП вступают в противоречие - повышение производительности процесса может привести к снижению качества производимой продукции и наоборот. Поэтому надежность ТП должна быть обеспечена по обоим показателям.

Под надежностью технологической системы понимают ее свойство выполнять заданные функции, сохраняя показатели качества и ритм выпуска годной продукции в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Отказы технологических систем могут быть постепенными и внезапными.

**Постепенные отказы связаны с процессом износа:**

* Технологического оборудования.
* Технических средств системы управления.
* Инструмента.
* Оснастки и средств контроля, с температурными деформациями и тому подобное.

**Внезапные отказы характеризуются скачкообразным изменением одного или нескольких заданных параметров системы, например:**

* Вызваться ошибками людей.
* Быть следствием дефектов в заготовках и инструментах и тому подобное.

Надежность ТП должна осуществляться только по тем параметрам и показателям качества, уровень которых зависит от технологии изготовления.

**Цели и задачи исследования надежности технологических систем могут быть подразделены на три группы:**

* Первая группа - определение надежности действующих ТП и ТО, установление причин недостаточной надежности, разработка мероприятий по устранению причин отказов. Они полностью определены государственными стандартами и подробно рассмотрены в многочисленной литературе [1, 2, 3].
* Вторая группа задач характерна для технологической подготовки производства это выбор наилучшего варианта ТС с позиции обеспечения требуемой надежности, оптимизация надежности ТС, метода и объема контрольных операций, резервирования восстанавливаемых систем, планирования профилактических ремонтов, разработка оптимальных технологических процессов.
* Третья группа задач - обеспечение требуемой надежности ТС на этапе ее эксплуатации, то есть при изготовлении изделий.

Следовательно, при технологической подготовке производства актуальной становится проблема управления надежностью ТС.

**Процесс управления надежностью немыслим без знания факторов, влияющих на потерю работоспособности системы, соответственно:**

* Без раскрытия природы отказов.
* Без изучения физико-химических процессов в технологической системе, приводящих к потере ее работоспособности.

Анализ процесса потери системой работоспособности целесообразно проводить на математической модели надежности.

Для этой цели необходимо разработать процесс формирования выходных параметров качества и производительности системы.

### Формирование показателей надежности технологической системы

**Для обеспечения показателей надежности необходимо управлять процессом их формирования, направленно воздействуя на его отдельные этапы и контролируя ход процесса рисунок 1:**

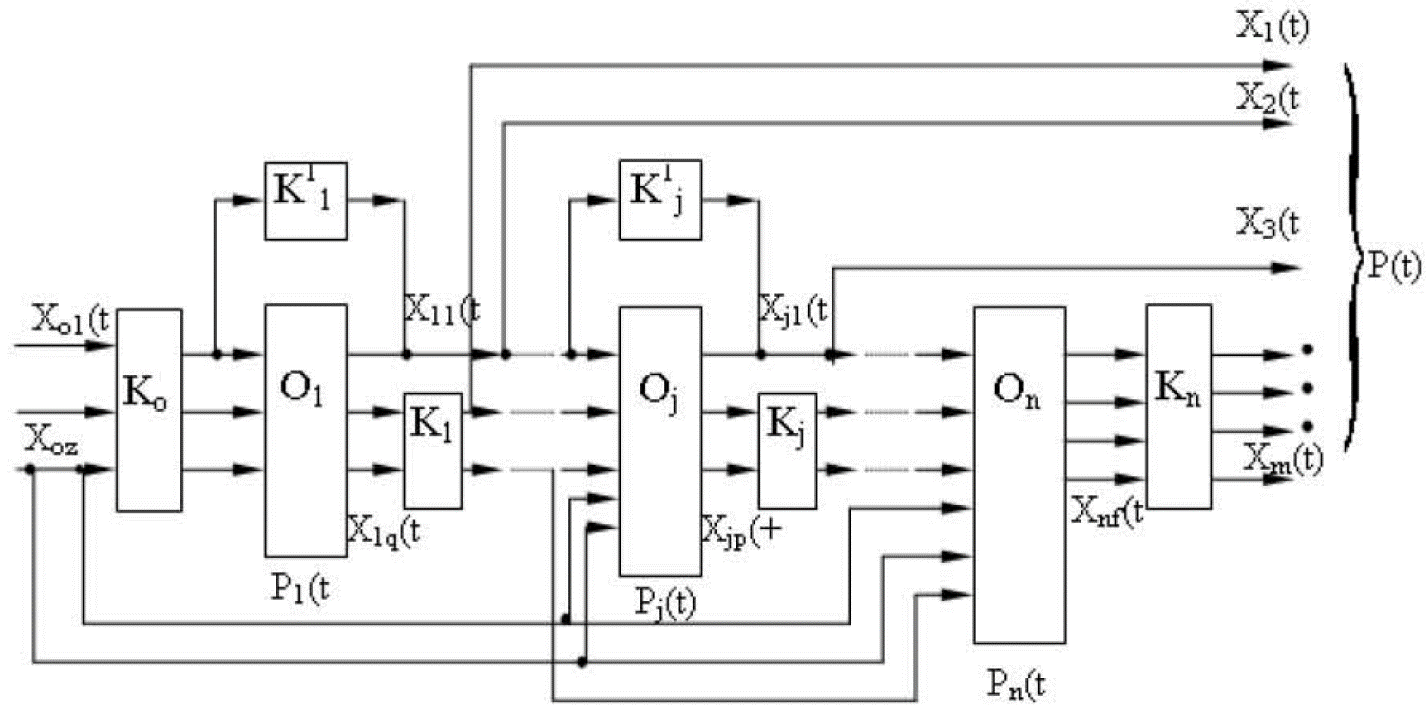
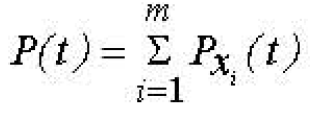


Рисунок 1 – Схема формирования показателей надежности технологической системы технологического процесса

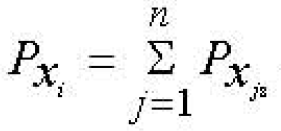
В итоге технологического процесса, состоящего из n операций, должен быть обеспечен поиск m параметров x1, x2, …, xm в пределах допуска.

**Вероятность P(t) выхода любого из параметров за пределы допуска в течение заданного периода t=Т определит безотказность данной ТС ТП:**

 (1)

В свою очередь вероятность PXi выхода любого из параметров Xi за пределы допуска в течение заданного периода t=Т зависит от вероятности безотказной работы каждой ТС технологической операции (Oi) по рассматриваемому параметру.

**Соответственно получаем следующую зависимость:**

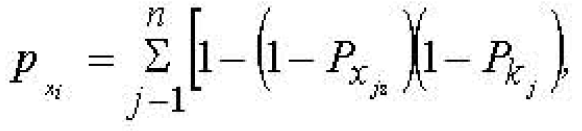
 (2)

При условии, если выходные параметры Xjz подсистемы Oj независимы.

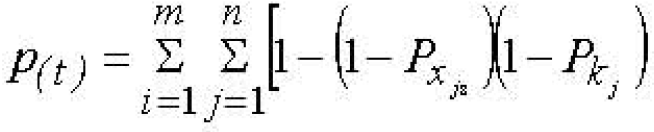
Таким образом, надежность ТС ТП зависит от надежности подсистем, осуществляющих технологические операции (ТО), структура системы, определяющей взаимосвязь и последовательность выполнения ТО.

Контрольные операции (КО) с позиции схемной надежности играют роль резервных элементов и существенно повышают надежность всего ТП, если иметь в виду появление бракованных деталей. Но и КО характеризуются вероятностью Рkj.

**Тогда для оценки вероятности безотказного осуществления ТО по параметру Xi можно воспользоваться зависимостью:**

 (3)

**Соответственно для всего ТП примет вид:**

 (4)

Однако данная зависимость не дает реальной картины надежности ТП, так как в действительности ТП может оказаться абсолютно мало надежным и неэффективным из-за большого количества отбракованных деталей по всей цепочке ТП. В результате возрастает техническая себестоимость изготовления изделий.

Значительно повышают надежность ТП введение систем активного контроля и автоматического управления качеством изделий, хотя и они характеризуются соответствующей вероятностью. В этом случае зависимость (4) приобретает реальное содержание.

### Оценка надежности технологической подсистемы

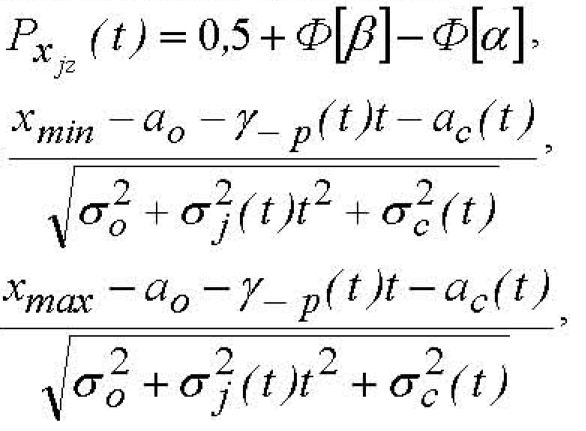
Для оценки надежности j-ой технологической подсистемы технологической операции, но по параметру xjz, примем схему потери работоспособности подсистемы при заданной длительности работы, рассмотренную в [1].

**Схема представляет собой модель отказа подсистемы, учитывающая процессы различной скорости:**

* Быстропротекающие.
* Средней скорости.
* Медленно протекающие процессы.

Если обобщенное мгновенное распределение параметра xjz подчиняется нормальному закону, что характерно для технологических операций, выполняемых на предварительно настроенных станках [1].

**Тогда вероятность безотказной работы технологической системы в момент t будет иметь вид [1]:**

 (5)

**где**

* xmax, xmin - максимальное и минимальное значение параметра xjz.
* а0 - математическое ожидание величины xjz в начальный момент времени.
* σ0 - среднеквадратическое отклонение от центра группирования.
* yCР - среднее значение (математическое ожидание) скорости изменения параметрах.
* σj - среднеквадратическое отклонение скорости изменения параметра xjz.
* ac(t) - математическое ожидание мгновенного распределения в момент t, характеризующее изменение во времени числа и характеристик рассеивания независимых случайных слагаемых.
* σC - среднее квадратическое отклонение, вызванное независимыми случайными факторами.
* Ф(z) - функция Лапласа.

Рассмотренная схема потери работоспособности соответствует случаю, когда подсистема функционирует в течение заданного периода, то есть все периоды непрерывной работы Т0 одинаковы и заранее установлены.

Данный метод дает возможность назначать время для плановых мероприятий по техническому обслуживанию. Однако, в первый период работы имеется запас надежности и возможности подсистемы полностью не используются.

Более совершенным является непрерывная работа подсистемы до достижения предельного состояния по параметру xjz. При данном методе область работоспособности будет использована более полно.

**Это возможно за счет применения системы автоматического управления (подналадки) где:**

* По мере работы происходит уменьшение оставшегося после наладки запаса надежности и длительности последующих периодов до подналадки.
* Длительность периода работы до подналадки зависит от требуемого уровня безотказной работы подсистемы.
* В формуле (5) искомым является значение t, входящее в аргумент функции Лапласа, который будет квантилем хP, то есть значением, соответствующим данной вероятности P(t).

Порядок расчета - для заданного значения P(t) по таблицам для квантилей нормального распределения находим соответствующее значение хP и из уравнения (5) определяем время работы подсистемы до технического обслуживания.

Одним из важнейших вопросов теории надежности ТС ТП является определение требуемого уровня надежности, следует иметь в виду уровень надежности, при котором получается наибольший экономический эффект с учетом затрат на проектирование, создание и эксплуатацию ТС, то есть оптимальный уровень надежности.

**Поэтому определение оптимального уровня надежности неразрывно связано с другими задачам, решаемыми на этапе технологической подготовки:**

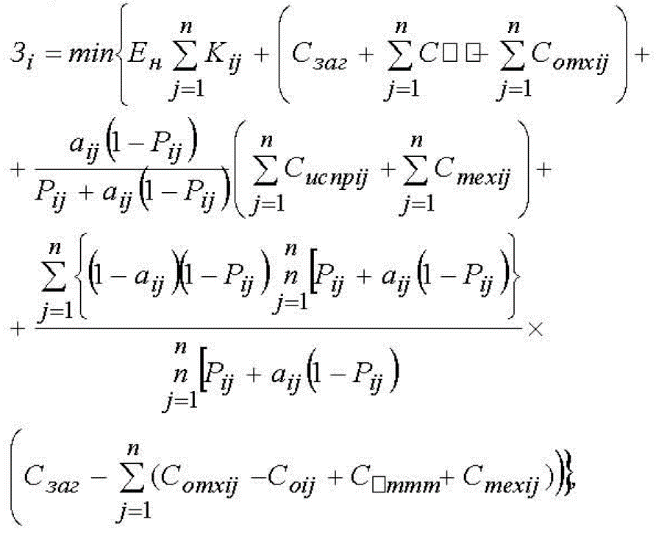
* Выбором технологических методов обработки.
* Оборудования.
* Инструментов.
* Режимов обработки и других составляющих.

Поэтому решаемая задача является комплексной и выполняется при оптимизации ТП.

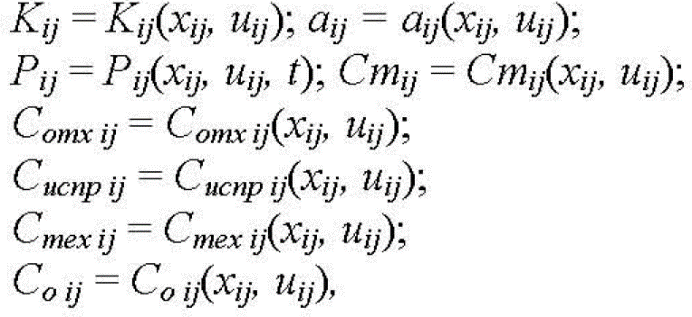
### Оптимизация технологического процесса

Задача оптимизации технологического процесса в этом случае состоит в определении структуры и параметров процесса, при которых переменная часть приведенных затрат предприятия, зависящая от варианта технологического процесса, примет минимальное значение.

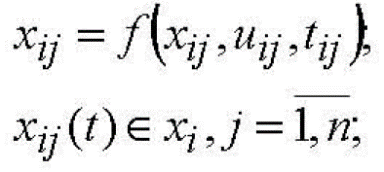
**Соответственно получаем следующее уравнение:**

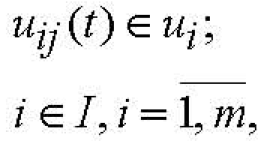
 (6)

**где**



**При соблюдении следующих условий:**

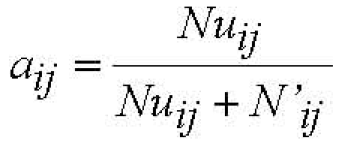
 (7)

 (8)

**где**

* Зi – приведенные затраты на изготовление единицы годной продукции по i-му технологическому процессу.
* Ен – Нормальный коэффициент эффективности капитальных вложений.
* Кij – удельное капитальное вложение в производственные фонды на j-ой технологической операции i-го технологического процесса, приходящиеся на одну годную деталь.
* Nuij – объем произведенной продукции на j-й операции за время t, признанной по результатам контроля браком, подлежащим исправлению на дополнительной операции.
* Nнij – объем произведенной продукции на j-й операции за время t, признанной по результатам контроля окончательным браком.
* Сзаг – затраты на заготовку.
* Сomx ij – стоимость реализованных отходов при изготовлении одной детали на j-й операции.
* Сm ij – затраты на изготовление (технологическая себестоимость) одной детали на j-й операции.
* Сиспр ij – затраты на изготовление после j-й операции.
* Стех ij – затраты на техническое обслуживание, не входящее в мероприятия, предусмотренные нормативно-технической документацией.
* Со ij – стоимость реализуемого материала бракованный детали после j-й операции.
* xi – множество допустимых значений вектора xy(t).
* xij(t) – фазовый вектор технологических параметров, определяющих состояние j-й операции в момент времени t.
* ui – множество допустимых значений вектора uij(t).
* uij(t) – вектор управления, компонентами которого являются управляющие технологические параметры j-й операции.
* I – множество допустимых вариантов технологических процессов.

**Где коэффициент, характеризующий вероятность появления исправимого брака, определяется:**



К фазовым технологическим параметрам относятся показатели качества выпускаемой продукции и такт выпуска данной j-й операции.

**К управляющим технологическим параметрам относятся:**

* Режимы резания.
* Период стойкости инструмента.
* Межоперационный допуск на резмерную настройку системы СПИД и другие факторы.

Математическая модель технологического процесса представляется системой уравнений (7) (уравнений связи) и системой уравнений (8) (ограничения).

**В общем случае накладываются следующие ограничения:**

* По качеству продукции.
* По производительности.
* По расходу оборотных средств.
* По организационно-техническим и технологическим возможностям основных средств.

Система уравнений (8) выделяет в пространстве технологических параметров область допустимых значений.

Определение численных значений технологических параметров, при которых целевая функция принимает минимальное значение, и составляет суть задачи параметрической оптимизации технологического процесса с учетом его надежности.

Структурная оптимизация позволяет выявить оптимальных вариант из i-х технологических процессов после предварительной параметрической оптимизации каждого из сравниваемых вариантов.

Реализация рассмотренной методики в статье [1] позволила решить задачу проектирования оптимальных технологических процессов изготовления асинхронных электродвигателей с учетом их надежности, что способствовало сокращению сроков производственного внедрения спроектированных технологических процессов на АО «Кузбассэлектромотор» и снижению приведенных затрат на изготовление асинхронных взрывобезопасных электродвигателей.

Достижение требуемого уровня надежности по показателям качества и производительности обеспечиваются автоматическими системами управления ТП, подробно рассмотренными в статье [4].

### Список литературы

1. Полетаев В.А. Основы управления качеством функционирования машин. – Кемерово: Изд-во Кузбас. политехн. ин-та, 1993. – 234 с.
2. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / О.В. Рыжов, А.Г. Суслов, В. П. Федоров. - М.: Машиностроение, 1979. - 176 с.
3. Проников А. С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978. – 591 с.
4. Принципы построения автоматических систем управления технологическими процессами изготовления изделий машиностроения / Полетаев В. А., Калачев М. А. // Вестник КузГТУ, 1998. - № 2. - С. 3-11.

Источник: Определение оптимального уровня надежности производственной системы / В.А. Полетаев, И.В. Чичерин // Вестник КузГТУ. - 2012. - №1. - C. 61-65.