**МДК 05.01 Теоретические основы обеспечения надежности систем автоматизации и модулей мехатронных систем**

1. Дата проведения: 01.09.2020г;
2. Номер занятия по рабочей программе: 1;
3. Группа: 41-А;
4. Тема: «Введение. Общие понятия»;
5. Изучить теоретический материал;

##### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Вторая половина XX в. характерна появлением машин и систем высокой конструктивной сложности, способных выполнять ответственные задачи. В процессе их функционирования стало расти число отказов. Если нет устойчивого образования связанных между собой элементов, то не имеет смысла рассматривать какие-либо другие свойства машины или системы: качество, эффективность, безопасность, живучесть, управляемость, устойчивость. Ибо каждое из приведенных свойств имеет смысл при наличии изначального свойства любой системы — надежности. Поэтому было естественным явлением становление в 50-е годы XX в. новой научной дисциплины — теории надежности как науки о закономерностях отказов различных систем: сначала технических, а затем и биологических, экономических и других классов систем.

В нашей стране уделяется большое внимание решению актуальных проблем ускорения научно-технического прогресса, повышения эффективности машин и систем, совершенствования методов управления и планирования народного хозяйства. Научно-техническая революция способствовала бурному росту сложности машин и систем, что особенно характерно для современных летательных аппаратов, нефтехимических и металлургических комплексов, ядерных энергетических установок. Это привело к тому, что проблема обеспечения их надежности стала ключевой проблемой современной техники. Современные сложные системы (СС) отличаются большой разветвленностью технологических подсистем, большим числом и разнотипностью оборудования, сложностью алгоритмов управления.

Научно-технический прогресс приводит к появлению все более сложных конструктивно и чрезвычайно опасных для обслуживающего персонала и окружающей среды уникальных систем. Тяжелая авария на II блоке АЭС TMJ (США) в марте 1979 г., утечка ядовитых газов на химическом комбинате в Бхопале (Индия, 1984), взрыв многоразовых космических аппаратов

«Челленджер» (1986) и «Колумбия» (2003), разрушение 4-го блока на Чернобыльской АЭС (1986), гибель атомной подводной лодки «Курск» (2001) показали, что проблема обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации СС еще далека от своего решения. Человеческие жертвы, радиоактивное заражение больших участков местности, огромные экономические потери — вот характерные результаты отказов СС. Здесь также необходимо учитывать моральные, психологические и политические аспекты ненадежности СС.

Теория надежности как научная дисциплина изучает закономерности возникновения и устранения отказов объектов. В Большой Советской Энциклопедии (т.17, с.602) теория надежности определяется так: «научная дисциплина, в которой разрабатываются и изучаются методы обеспечения эффективности работы объектов в процессе эксплуатации».

Теория надежности изучает:

* критерии и характеристики надежности;
* методы анализа надежности;
* методы синтеза СС по критериям надежности;
* методы повышения надежности;
* методы испытаний объектов на надежность;
* методы эксплуатации объектов с учетом их надежности.

Теория надежности является прикладной технической наукой. Она изучает общие закономерности, которых следует придерживаться при проектировании, изготовлении, испытаниях и эксплуатации объектов для получения максимальной эффективности и безопасности их использования.

В теории надежности исследуются закономерности возникновения отказов объектов, восстановления их работоспособности, рассматривается влияние внешних и внутренних воздействий на процессы, происходящие в объектах, разрабатываются методы расчета систем на надежность, прогнозирования отказов, изыскиваются способы повышения надежности при проектировании и эксплуатации объектов, а также способы сохранения надежности при эксплуатации, определяются методы сбора, учета и анализа статистических данных, характеризующих надежность.

В теории надежности вводятся показатели надежности объектов, устанавливается связь между ними и экономической эффективностью и безопасностью, обосновываются требования к надежности с учетом различных факторов, разрабатываются рекомендации по обеспечению заданных требований на этапах проектирования, изготовления, испытаний, хранения и эксплуатации, решаются эксплуатационные задачи надежности: обоснование сроков и объема профилактических мероприятий и ремонтов, обеспечение запасными элементами, узлами, инструментом и материалами, диагностический контроль и отыскание неисправностей и т.д.

В числе важнейших эксплуатационно-технических характеристик, определяющих эффективность объектов, особое место занимают показатели надежности, безопасности и живучести.

*Надежность* — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

В данном определении имеются следующие особенности. Во-первых, подчеркнута непрерывность выполнения объектом заданных функций. В этом аспекте нет смысла говорить о надежности объекта, например, во время проведения на нем планово-предупредительных работ (ППР), ремонтов,

замены оборудования, освидетельствований и других мероприятий, связанных с остановом реактора. Ибо в это время объект не выполняет своих функций, а именно, не выдает электроэнергию и промышленное тепло, не перевозит грузы и пассажиров и т.д. Во-вторых, в определение надежности включено понятие «установленные пределы». Сложная система при отказе отдельных элементов или подсистем сохраняет свою работоспособность и может обеспечивать своих потребителей, например, энергией, но в меньшем количестве.

В-третьих, надежность объекта целесообразно определять за определенные промежутки времени, например, между перегрузками топлива, за время работы на заданном уровне мощности, за время до прекращения эксплуатации и др.

В зависимости от условий решаемой задачи один и тот же объект может именоваться *системой* или *элементом*. Под *системой* (системой элементов) обычно понимают объект, в котором необходимо и возможно различать определенные взаимозависимые части, соединенные воедино. *Элемент* — определенным образом ограниченный объект, рассматриваемый как часть другого объекта. Понятия «система» и «элемент» — относительны, любой объект при решении одних задач может рассматриваться как система, а при решении других — как элемент.

Надежность как сложное свойство в зависимости от назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств: безотказности, ремонтопригодности, долговечности и сохраняемости. Для объектов, работающих непрерывно, таких, например, как энергоблок электрической станции, обзорный локатор аэродрома, магистральные нефте- и газопроводы, из этих свойств наиболее важны три первые. Объекты, работающие сезонно, напротив, должны кроме приемлемой безотказности иметь высшие показатели ремонтопригодности, долговечности и сохраняемости (сельскохозяйственная техника). Свойства, составляющие надежность, могут характеризовать и другие особенности объекта.

*Безотказность* — одно из самых важных свойств надежности элементов и систем. Безотказность — это свойство объектов сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Обычно безотказность рассматривается применительно к режиму эксплуатации объекта. При оценке безотказность объекта пере- рывы в его работе (плановые и внеплановые) не учитываются. Безотказность характеризуется техническим состоянием объекта: исправностью, неисправностью, работоспособностью, неработоспособностью, дефектом, повреждением и отказом. Каждое из этих состояний характеризуется совокупностью значений параметров, описывающих состояние объекта, и качественных признаков. Номенклатура этих параметров и признаков, а также пределы допустимых их изменений устанавливаются нормативной документацией на объект.

*Исправное состояние объекта* — это такое состояние, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. В противоположность этому, *неисправное состояние объекта*

— это состояние, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и конструкторской документации. При *работоспособном состоянии объекта* значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. Если значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность элемента выполнять заданные функции, не соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации, то такое состояние называется *неработоспособным*. А событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта, называется отказом. Событие, состоящее в нарушении исправного состояния объекта, но сохраняющего его работоспособность, носит название *повреждения (дефекта).*

Границы между исправным и неисправным, между работоспособным и неработоспособным состояниями обычно условны и представляют собой, в основном, совокупность определенных значений параметров объектов. Эти значения одновременно являются границами соответствующих допусков. Работоспособность и неработоспособность могут быть как полными, так и частичными. Если объект полностью работоспособен, то в определенных условиях эксплуатации возможно достижение максимальной эффективности его применения. Эффективность применения в тех же условиях частично работоспособного объекта меньше максимально возможной, но значения ее показателей еще находятся в пределах, установленных для такого функционирования, которое считается нормальным для данного объекта.

Работоспособность должна рассматриваться применительно к определенным внешним условиям эксплуатации объекта. Элемент, работоспособный в одних условиях, может, оставаясь исправным, оказаться неработоспособным в других.

Переход объектов из одного состояния в другое обычно происходит вследствие *повреждения* или *отказа*. Работоспособный объект в отличие от исправного должен удовлетворять лишь тем требованиям нормативно- технической и конструкторской документации, выполнение которых обеспечивает нормальное его применение по назначению. Очевидно, что работоспособный элемент может быть неисправным, например, не удовлетворяющим эстетическим требованиям, если ухудшение внешнего вида не препятствует его применению по назначению. Переход элемента из исправного в неисправное состояние происходит вследствие дефектов. Термин «дефект» применяют, в основном, на этапах изготовления и ремонта. В этих случаях требуется учитывать отдельно каждое конкретное несоответствие объекта требованиям, установленным нормативной документацией. Термин «неисправность» применяется при эксплуатации объектов, когда требуется учитывать изменения технического состояния элементов, независимо от числа обнаруженных дефектов. Находясь в неисправном состоянии, объект имеет один или несколько определенных дефектов.

*Ремонтопригодность* — это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Ремонтопригодность представляет собой совокупность технологичности при техническом обслуживании и ремонтной технологичности объектов. Свойство ремонтопригодности полностью определяется его конструкцией, т. е. предусматривается и обеспечивается при разработке, изготовлении и монтаже объектов, с учетом будущего целесообразного уровня их восстановления, который определяется соотношением ремонтопригодности и внешних условий для выполнения ремонта, в том числе устанавливаемых для этого пределов соответствующих затрат. Отсюда происходит относительность деления объектов на *восстанавливаемые* и *невосстанавливаемые* применительно к определенным внешним условиям (точнее, на подлежащие и не подлежащие восстановлению). Один и тот же элемент в зависимости от окружающих условий и этапов эксплуатации может считаться восстанавливаемым или невосстанавливаемым. Деление объектов на восстанавливаемые и невосстанавливаемые зависит от рассматриваемой ситуации и в значительной степени условно. Однако необходимо и безусловное деление этих же элементов на вообще доступные для ремонта и не подлежащие ему применительно ко всему времени их существования, т. е. на ремонтируемые и неремонтируемые. Деление по обоим признакам для многих объектов совпадает: ремонтируемый элемент может быть восстанавливаемым на протяжении всего срока службы, а неремонтируемый элемент остается невосстанавливаемым в течение всего времени существования. Однако имеются ремонтируемые объекты, которые в определенных ситуациях в случае возникновения отказа в течение данного интервала времени (например, времени компании) не подлежат восстановлению. С другой стороны, есть не ремонтируемые элементы, обладающие самовосстанавливаемостью работоспособности в случае возникновения некоторых отказов, в частности, при наличии резервных элементов и соответствующих автоматических устройств, осуществляющих в таких случаях переход на использование резерва.

Следовательно, при формулировании и решении задач обеспечения, прогнозирования и оценивания надежности существенное практическое значение имеет решение, которое должно приниматься в случае отказа объекта — восстанавливать его или нет. Отнесение объекта к восстанавливаемым или невосстанавливаемым влечет за собой выбор определенных показателей надежности. Например, очевидно, что для

невосстанавливаемого объекта не имеет смысла такой показатель надежности как среднее время восстановления.

*Долговечность* — это свойство объектов сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. *Предельное состояние объекта* характеризуется таким состоянием, при котором дальнейшее его применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление исправного или работоспособного состояний невозможно или нецелесообразно. Критерием предельного состояния служит признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленных в нормативно-технической и конструкторской документации. Объект может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если его дальнейшее применение по назначению станет недопустимым по требованиям безопасности, экономичности или эффективности.

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение его эксплуатации. Для неремонтируемых объектов имеет место предельное состояние двух видов. Первый совпадает с неработоспособным состоянием. Второй вид предельного состояния обусловлен тем обстоятельством, что, начиная с некоторого момента времени, дальнейшая эксплуатация пока еще работоспособного элемента согласно определенным критериям оказывается недопустимой в связи с безопасностью. Переход ремонтируемого объекта в предельное состояние второго вида происходит раньше момента возникновения отказа. Для ремонтируемых объектов можно выделить три вида предельных состояний. Для двух видов требуется капитальный или средний ремонт, т. е. временное прекращение эксплуатации. Третий вид предельного состояния предполагает окончательное прекращение эксплуатации объекта.

Таким образом, в общем случае долговечность объектов, измеряемая техническим ресурсом либо сроком службы, ограничена не отказом объекта, а переходом в предельное состояние, что означает возникновение необходимости в капитальном или среднем ремонтах, либо вообще невозможность дальнейшей эксплуатации.

Одним из центральных понятий теории надежности является понятие

«*наработка*», так как отказы и переходы в предельное состояние объектов обусловлены, в основном, их работой. Под наработкой понимается продолжительность или объем работы объекта. Наработка измеряется в единицах времени и единицах объема выполненной работы. Объект может работать непрерывно (за исключением вынужденных перерывов, обусловленных возникновением отказа и ремонтом) или с перерывами, не обусловленными изменением технического состояния. Во втором случае различают *непрерывную* и *суммарную наработку*. Оба вида наработки могут представлять собой случайные и детерминированные величины (например, наработка за смену в случае отсутствия вынужденных простоев). Суммарную

наработку в ряде случаев сопоставляют с определенным интервалом календарного времени. Если объект работает в различные интервалы времени с различной нагрузкой (на разных уровнях мощности), различают непрерывную и суммарную наработку для каждого вида или степени нагрузки (для разного уровня мощности).

Кроме упомянутых видов наработки применяют термины «наработка до отказа», «наработка между отказами», «ресурс», «срок службы».

*Наработка до отказа* — это наработка объекта от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа. *Наработка между отказами*

— это наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа. Под *техническим ресурсом (ресурсом)* понимается наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние. *Срок службы* — календарная продолжительность от начала эксплуатации объекта или возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние. Наработка до отказа, наработка между отказами и ресурс - всегда случайные величины. Параметры их распределений служат показателями безотказности и долговечности.

Наработка до отказа характеризует безотказность как неремонтируемых (невосстанавливаемых), так и ремонтируемых (восстанавливаемых) объектов. Наработка между отказами определяется продолжительностью работы объекта от *i*-го до (*i* +1)-го отказа, где *i* = 1,2,... Эта наработка относится только к восстанавливаемым объектам.

Физический смысл ресурса — зона возможной наработки объекта. Для неремонтируемых элементов он совпадает с запасом нахождения в работоспособном состоянии при эксплуатации, если переход в предельное состояние обусловлен только возникновением отказа. Начало отсчета наработки, образующей ресурс, может совпадать с началом эксплуатации объекта либо после выполнения ремонта. В каждый момент времени можно различать две части любого ресурса: израсходованную к этому моменту в виде состоявшейся суммарной наработки и оставшуюся до перехода в предельное состояние. *Остаточный ресурс* оценивают ориентировочно, поскольку ресурс в целом является случайной величиной. Как всякая случайная величина, ресурс полностью характеризуется распределением вероятностей. Параметры этого распределения служат показателями долговечности (средний и гамма-процентный ресурсы). Все сказанное о видах ресурса в полной мере относится и к видам срока службы, за исключением того, что срок службы в отличие от ресурса измеряется календарным временем. Соотношение значений ресурса и срока службы одного и того же вида зависит от распределения наработки в непрерывном времени, т. е. от интенсивности эксплуатации объекта.

*Сохраняемость* — это свойство объекта сохранять значение показателей безотказности, долговечности и ремонтопригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования. Проблема сохраняемости для большинства объектов, работающих непрерывно, не стоит достаточно остро по сравнению с обеспечением трех первых свойств надежности. Однако для подвижных объектов вопросы обеспечения надежности при транспортировании весьма важны.

Следует отметить, что методы оценки и повышения надежности систем в значительной мере зависят от типа исследуемой системы. Благодаря огромному разнообразию таких типов, по сути, мы можем говорить не об одной дисциплине «Теория надежности», а о целом классе дисциплин, занимающихся вопросами обеспечения надежности.

Если в качестве объекта (системы) рассматривают здания, конструкции, корпуса оборудования и т.д., то основными задачами теории надежности являются расчет допустимых нагрузок, влияние факторов окружающей среды на прочность и долговечность систем. Подобными вопросами, например, занимается дисциплина «Сопротивление материалов».

В случае систем передачи информации (СПИ), отказом можно считать искажение передаваемого сообщения. Тогда, повышение надежности СПИ связано с разработкой и применением разного рода помехозащищенных кодов.

Если же рассматривается надежность человека, как оператора какой- либо системы, в расчет берутся факторы, влияющие на внимательность оператора. В этом случае задачами повышения надежности будут являться расчет оптимальной продолжительности рабочих смен, повышение информативности дисплеев устройств и т.д. Подобными вопросами занимается, например, дисциплина «Человеко-машинное взаимодействие».

Стоит отдельно упомянуть надежность программного обеспечения (ПО). Это относительно новая дисциплина рассматривает вопросы обнаружения ошибок в программном коде, планирования тестовых мероприятий и т.д. Значительным отличием систем ПО от других систем является нефизическая (абстрактно-математическая) природа ПО. Отсутствие физических компонентов делает невозможным износ программ, а отладка (удаление ошибок из кода) приводит к тому, что надежность ПО повышается со временем – чего не наблюдается, например, в технических системах.

В нашем курсе мы сосредоточимся на надежности технических систем, где под отказом будем понимать выход из работоспособного состояния элементов и узлов сложных систем, а повышение надежности связывается в основном с введением резервирования малонадежных блоков. Основным математическим аппаратом является аппарат теории вероятностей и математической статистики.