

© Коваленко И.В., Вялкова Т.В.

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНДУКЦИОННО- НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

В Украине, одной из ведущих отраслей экономики которой является машиностроение, существует необходимость развертывания фундаментальных исследований и разработки целевых комплексных научно-технических программ, создающих научно обоснованную базу для прогнозирования, обеспечения и поиска эффективных путей повышения надежности сложных технических систем, а также комплексных разработок методологического обеспечения теории и практики надежности машин и механизмов. Концентрация научных исследований на разработке физических моделей развития повреждений и научных основ ресурсного проектирования деталей и механизмов, использовании подходов нечеткой логики, сетей и сложных структурных схем, элементов искусственного интеллекта позволила сформулировать общие принципы, правила и порядок прогнозирующих расчетов надежности и довести их до общепринятых нормативных рекомендаций.

Развитие техники индукционного нагрева, широкое использование вычислительных машин и методов математического моделирования повышает роль теории надежности индукционных нагревателей, которая является одним из наиболее молодых направлений. Проблема надежности становится особенно актуальной сегодня в связи с постоянным ужесточением требований к безопасности конструкций энергетических и промышленных комплексов, чьи

отказы могут привести к значительным экологическим и экономическим проблемам. Повышение качества и надежности индукционных установок позволит не только сократить и удешевить работы на данных установках, но и, что самое главное, увеличить экономическую эффективность применения индукционного нагрева.

Индукционный нагрев распространен во многих отраслях промышленности, в том числе в машиностроении. Технологические системы, использующие индукционный нагрев для высокоскоростной термообработки, нанесения покрытий, высокотемпературного нагрева при сборке и разборке соединений с натягом, а также автоматизация управления процессом гарантируют индукционному нагреву все возрастающее применение. Преимущества индукционно-теплого метода заключаются в высокой скорости индукционно-тепловой разборки и сборки, компактности оборудования, удобства эксплуатации, сохраняемости деталей после разборки соединения и возможности автоматизации процесса.

Самыми широко распространенными являются индукционные нагревательные устройства, принцип действия которых основан на нагревании охватываемой детали (типа втулка) при прохождении через нее электрического тока, возбуждаемого индукционной катушкой. В индукционный нагреватель устанавливают нагреваемое соединение и подают напряжение. При этом разъединение деталей осуществляется за счет теплового зазора, что дает возможность осуществить разборку соединения с натягом без повреждения посадочных поверхностей. Зазор формируется вследствие нагрева охватываемой детали со скоростью, превосходящей скорость передачи тепла в охватываемую деталь через поверхность их контакта. В процессе нагрева посадочная поверхность охватываемой детали должна расширяться на величину, компенсирующую натяг и увеличение диаметра охватываемой детали. Реализация этого условия обеспечивается правильным выбором

скорости нагрева и назначением соответственно мощности индукционно-нагревательного устройства. Для индукционной установки решающим является выбор оптимального режима работы нагревателя, который получают с помощью характеристик процесса нагрева (в свою очередь характеристики процесса нагрева получают из теплового расчета).

Индукционный нагрев базируется на действие переменных магнитных полей на тела, проводящие электрический ток. Поля создаются индукторами, т.е. катушками или своеобразными петлями (изготавливаются из покрытых теплостойкой изоляцией медного провода или трубки разных сечений) с сильными переменными токами. В индукционной установке катушки являются наиболее ответственной и дорогостоящей частью. Магнитное поле соленоида, по которому проходит электрический ток на подвижный стальной сердечник индукционной катушки бесконтактно передает электроэнергию в нагреваемое тело. Теплота развивается от джоулевых потерь индуцированных в теле токов.

Для индукционно-нагревательных установок снижающим качество является именно индукционная катушка (ее обмотка), которая имеет при данной технологической операции высокий уровень перегрева при эксплуатации. Повысить надежность индукционно-нагревательных установок можно при помощи внедрения к системе сопротивлений (активного и индуктивного) емкостного сопротивления, которое будет компенсировать индуктивное сопротивление (сведет его к нулю) и этим самым повысит активное сопротивление, которое все пойдет в тепло. Для индукционных установок выход из строя катушек приводит к разрушению их самих и иногда самого объекта нагрева. Поэтому, обеспечение надежности функционирования индукционно-нагревательных установок представляет собой обеспечение надежности индукционных катушек, что имеет первостепенное значение. При этом нагрев должен быть сохранным, то есть не создавать недопустимых температурных напряжений в металле втулки, которые приведут к ее

деформированию, и недопустимых температур, при которых изменятся физико-механические свойства металла. Тепловые процессы основывается на сопряженном численном решении дифференциальных уравнений.

Таким образом, качество нагрева деталей при сборке и разборке соединения с натягом индукционным способом обеспечивается надежностью индукционной катушки, которая позволяет обеспечить проведение технологического процесса с максимально высокой производительностью при соблюдении ограничений по предельно допустимым значениям тепловых процессов в нагреваемом соединении.

Надежность индукционной катушки является сложным комплексным свойством. Применяемые для оценки количественные и качественные показатели, характеризующие ее способность сохранять работоспособность в течение всего срока службы, не позволяют дать всестороннюю оценку качества производимых и проектируемых нагревателей, поэтому их отражение в технических описаниях становится обязательным. Современная теория надежности механизмов и машин основана на теории вероятности, теории стохастических процессов, математической статистике, физике и механике твердого деформируемого тела и стохастической теории разрушения. Поэтому, прежде всего, важными являются исследования, статистически оценивающие и нормирующие показатели надежности сложных специальных технических систем, к которым относятся индукционно-нагревательные установки, а также решающие практические задачи поиска конструкционных и технологических путей их обеспечения и повышения. Данные исследования на сегодняшний день являются одной из основных задач. В этих условиях, несомненно, повышаются требования точности и надежности индукционных нагревательных установок на этапе их проектирования. Очевидна необходимость развертывания фундаментальных исследований и разработки целевых комплексных научно-технических программ, создающих научно обоснованную базу для

прогнозирования, обеспечения и поиска эффективных путей повышения надежности установок.

Для решения этих задач необходимо систематизировать основные направления науки о надежности индукционно-нагревательных установок и сформулировать в ней основные принципы, правила и порядок прогнозирования, испытаний и диагностики надежности, в том числе принципы, устанавливающие порядок и правила прогнозирования надежности на стадии проектирования.

На стадии подготовки технического задания вырабатываются обоснованные требования к надежности создаваемых индукционно-нагревательных установок в целом. Далее разрабатываются и исследуются их модели, одновременно решаются задачи рационального построения, выбора конструктивных решений и параметров элементов по критериям улучшения эксплуатационных свойств, анализируется нагруженность.

В разработке методов прогнозирования структурно могут быть выделены несколько последовательных этапов:

1. Анализ исходной информации (конструкторская документация, банк данных об изделиях-аналогах, результаты испытаний макетов, аналогов и др.);
2. Классификация элементов (деталей индукционно-нагревательных установок);
3. Классификация отказов (отказы, опасные для жизни людей, вызывающие экономические потери и др.);
4. Определение показателей надежности (расчетным методом, опытно-статистическим методом или методом испытаний)
5. Построение сигнального графа, здание матрицы состояния и т.п.;
6. Определение спектров нагрузок на элементы индукционно-нагревательной установки;

7. Анализ возможных предельных состояний и процессов утраты работоспособности (усталость, кратковременные перегрузки, износ, коррозия и др.);
8. Вероятные расчеты по предельным состояниям (построение кривых распределения отказов элементов индукционно-нагревательных установок);
9. Корректировка показателей надежности элементов, полученных различными методами;
10. Прогнозирование надежности индукционной катушки и индукционно-нагревательной установки расчетным методом или методом статистического моделирования;
11. Проверка соответствия полученных показателей надежности требуемым и принятие решений по обеспечению этого соответствия;
12. Определяются показатели надежности индукционной катушки (прежде всего, по параметрам безотказности и ресурса) методами вероятностных расчетов в сочетании с ускоренными испытаниями;
13. Для лимитирующих надежность показателей уже на этой стадии определяются пути их повышения с поиском наиболее эффективных конструкционных и технологических решений;
14. Проводится расчетная интегральная оценка надежности индукционно-нагревательной установки с учетом взаимосвязей и взаимозависимостей ее элементов и показателей.
15. Постоянно ведутся сбор и анализ данных испытаний, опытной и промышленной эксплуатации индукционно-нагревательных установок, проверка корректности прогнозных оценок, обоснование требований для новых технических заданий.

Каждый из названных этапов, взаимосвязанных единой ключевой целью — дать прогноз и обеспечить требуемую надежность индукционно-

нагревательных установок, представляет также самостоятельный научный и практический интерес. Обоснование требований к надежности индукционно-нагревательных установок при подготовке технических заданий на их проектирование базируется на анализе всей накопленной как технической, так и экономической информации о производстве и эксплуатации изделиях-аналогах, сложившейся конъюнктуре рынка. Большое внимание необходимо уделить методическому подходу, по которому проектный назначенный ресурс установки выбирается близким к определяемому по критерию оптимального сочетания суммарных затрат на его проектирование, производство и эксплуатацию, а так же направлению безусловного обеспечения безопасности создаваемых установок, по которому минимальный конструкционных риск, т. е. вероятность техногенного катастрофического отказа, закладывается в основу нормирования требований к показателям надежности наиболее ответственных деталей при их проектировании.

Наука о надежности индукционно-нагревательных установок получает все более интенсивное развитие, ее главные задачи полностью созвучны современными экономически обоснованными тенденциями к созданию изделий, технологий, производств, а следовательно, и разработке требуемого для этого научного обеспечения, «под ключ», т.е. с изначальной направленностью каждого из этапов на конечную цель и выполнение полного цикла работ, необходимого для ее достижения.

#### **Список использованных источников**

1. Романов С. В. Надежность индукционно-нагревательного оборудования для критических технологий и его нормативное обеспечение / С. В. Романов, И. В. Коваленко // Вимірювальна і обчислювальна техніка в технологічних процесах / Хмельницький технолог. ун-т. Поділля. – Хмельницьк, 2003. – №2 – С 222–226.

2. Коваленко И. В. Индукционные установки для разборки ответственных соединений / И. В. Коваленко // Високі технології в машинобудуванні / Харьк. нац. техн. ун-т. «ХПІ». – Х., 2004. – Вип. 2 (9) – С. 105–110.
3. Коваленко И. В. Разборка соединений с натягом при индукционном нагреве / И. В. Коваленко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. – Х., 2004. – № 28 : Технології в машинобудуванні : темат. вип. – С. 133–135.
4. Болотов А. В. Электродинамические установки / А. В. Болотов, Т. А. Щепель. – М. : Высш. шк., 1988. – 336 с.
5. Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е. Индукторы для индукционного нагрева / А. Е. Слухоцкий, С. Е. Рыскин. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

***Коваленко И.В., Вялкова Т.В.*** «Разработка алгоритма прогнозирования эксплуатационной надежности индукционно-нагревательных установок»

В статье структурно приведены методы прогнозирования в нескольких последовательных этапах, которые взаимосвязаны единой ключевой целью — дать прогноз и обеспечить требуемую надежность индукционно-нагревательных установок.

***Коваленко И.В., Вялкова Т.В.*** «Розробка алгоритму прогнозування експлуатаційної надійності індукційно-нагрівного обладнання»

В статті структурно приведено методи прогнозування в декілька послідовних етапів, які взаємопов'язані єдиною ключовою ціллю — дати прогноз і забезпечити потрібну надійність індукційно-нагрівного обладнання.

***Kovalenco I.V., Vyalkova T.V.*** "The algorithm is elaboration for forecasting operating the reliable of the induction -warm installation"

In article structure are lead to methods forecasting a few follow stages, which the object is correlation common key - yield is the forecast and secure demand is the

reliable of the induction -warm installation.