

УДК 621.313.333

## СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СЕРТИФИКАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА

*Прус В.В., к.т.н., доц., Ахметшина М.В., асп.*

*Кременчугский государственный политехнический университет имени Михаила Остроградского  
39600, г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20*

*E-mail: prus@polytech.poltava.ua*

Обґрунтовано структуру системи сертифікації асинхронних двигунів у процесі ремонту з урахуванням стану основних конструктивних елементів, описано метод відео ідентифікації дефектів та алгоритми оцінки параметрів і характеристик двигунів, включаючи підходи до їх можливого поліпшення у процесі перепроектування.

**Ключові слова:** асинхронний двигун, система сертифікації, відеоідентифікація, дефект, перепроектування.

The structure of certification system of asynchronous motors in the course of repair taking into account a condition of the basic constructive elements is proved, the videoidentification method of defects and algorithms of an estimation of parameters and characteristics of motors, including approaches to their possible improvement in the course of a redesigning is described.

**Key words:** asynchronous motor, certification system, videoidentification, defect, redesigning.

**Введение.** Парк электрических машин промышленных предприятий Украины на сегодняшний день характеризуется высокой степенью технического износа, что является причиной существенного снижения его надежности. Здесь следует отметить особенно высокие показатели выхода из строя асинхронных двигателей (АД), которые достигают в среднем 20-25% от их общего числа [1].

В то же время повышение энергетической эффективности работы АД на предприятиях, большую долю в себестоимости продукции которых составляют энергетические затраты, является основной задачей с точки зрения экономической эффективности производства. Результаты исследований показывают, что существующая технология и качество ремонта АД не обеспечивают полное восстановление их паспортных данных. Кроме этого, необоснованным может быть и сам ремонт, так как стоимость восстановительных работ не прогнозируется заранее, так же как и не оценивается предполагаемое изменение энергетических показателей и периода эксплуатации АД.

Учет влияния изменения свойств основных материалов и конструктивных изменений АД в процессе ремонта на параметры и характеристиками машины позволяет разработать рекомендации по их замене и восстановлению. Кроме этого, возможна оценка стоимости затраченных средств и принятие окончательного решения о пригодности АД к дальнейшей эксплуатации. Если двигатель подлежит ремонту, а после восстановления его действительные показатели существенно отличаются от номинальных, возникает необходимость снабжения машины новой табличкой с указанием паспортных данных и требуемых параметров и характеристик, т.е. ее сертификации. Именно сертификация способствует разработке и внедрению реальных подходов к энергосбережению, так как выбор оптимальных режимов работы и щадящих условий эксплуатации с использованием реальных возможностей и характе-

ристик машины обеспечивает повышение энергетической эффективности эксплуатации АД при общем увеличении его срока службы.

**Анализ предыдущих исследований.** Изменения, происходящие в конструктивных элементах АД во время эксплуатации и ремонта, в первую очередь отражаются на изменении его паспортных данных и рабочих параметров.

Как правило, отремонтированную машину возвращают на прежнее место эксплуатации. При этом, при работе в соответствии с требуемым режимом нагрузки, в большинстве случаев резко ухудшаются условия нагрева АД, что приводит к его повторному выходу из строя.

Эту проблему усугубляет и тот факт, что выход из строя АД не подвергается детальному анализу и списывается на технологические причины, такие как чрезмерное превышение нагрузки со стороны рабочей машины во время тяжелых режимов, повышение питающего напряжения, снижение частоты питающей сети и т.п. Учет качества ремонтируемых машин по цехам предприятий практически не проводится.

В лучшем случае, как показали результаты анализа ремонта АД на предприятиях Кременчугского региона, предприятие ведет учет ремонтируемых машин следующим образом:

1) на каждой машине выбивается инвентарный номер, который является уникальным и для другой машины не используется;

2) на каждую сдаваемую в ремонт машину заполняется заказ и паспорт машины, в котором указываются ее эксплуатационные и технические характеристики;

3) для отремонтированной машины проводятся типовые испытания в соответствии с ГОСТ или ведомственными инструкциями;

4) заполняется упрощенный протокол испытаний, ремонтная карта и делается пометка в паспорте машины о произведенном ремонте;

5) на машину изготавливается новая бирка с паспортными данными, которые переносятся из паспорта машины;

6) после сдачи отремонтированной машины в эксплуатацию считается, что ремонт выполнен правильно, если машина проработала более 72 часов.

Чаще всего факт повторного выхода АД из строя за короткий промежуток времени скрывается, так как в этом случае претензии предъявляются к эксплуатационным службам. Бирки с инвентарными номерами сбиваются или заменяются на другие, а паспорт машины, как правило, оказывается утерянным.

Все описанные выше причины доказывают необходимость сертификации электрических машин во время ремонта, так как знание действительного состояния отдельных узлов и машины в целом, а также рабочих параметров АД поможет решить проблемы:

- их правильного использования, особенно для двигателей с небольшим запасом по мощности, которые практически нельзя использовать на прежнем месте работы, так как по причине перегрева они не могут длительно развивать мощность, требуемую для нормального режима работы технологического механизма;

- усовершенствования технологии ремонта, в частности процесса отжига, так как анализ изменения греющих потерь в зависимости от интенсивности отжига позволит определить его оптимальный режим;

- обоснования выбора обмоточных материалов с более высоким классом нагревостойкости изоляции, что позволит повысить работоспособность отремонтированной машины;

- настройки защит (особенно тепловой) на реаль-

ный режим нагрева АД, что поможет снизить процентный показатель их выхода из строя;

- прекращению споров о качестве ремонта АД между подразделениями, производящими ремонт и эксплуатацию.

Работы в области сертификации, которые проводятся в настоящее время [1, 2] определяют ее основой знание греющих потерь и, как следствие, номинального тока, при котором нагрев обмоток машины находится в допустимых пределах, а их результаты ни в коем случае нельзя считать исчерпывающими.

**Цель работы** – обоснование структуры, принципов и подходов к сертификации АД в процессе ремонта на основе информации о действительном состоянии узлов и основных конструктивных элементов, а также об изменении их свойств в ходе предшествующей эксплуатации и ремонтов вследствие физического старения.

**Материал и результаты исследования.** Следует отметить, что проведение основных процедур сертификации наиболее целесообразно выполнять перед ремонтом, что позволяет определить его целесообразность и выдвинуть требования по возможной замене или модернизации конструктивных элементов.

Как свидетельствуют данные по статистике отказов АД, наибольшее их число приходится на обмотку статора и подшипниковый узел. Результаты предшествующих исследований позволяют сделать вывод, что одной из значимых причин, влияющих на их надежность, является изменение свойств сердечников статоров [3]. С учетом этого был выполнен анализ существующих видов повреждений выделенных конструктивных элементов и узлов, результаты которого приведены на рис. 1.

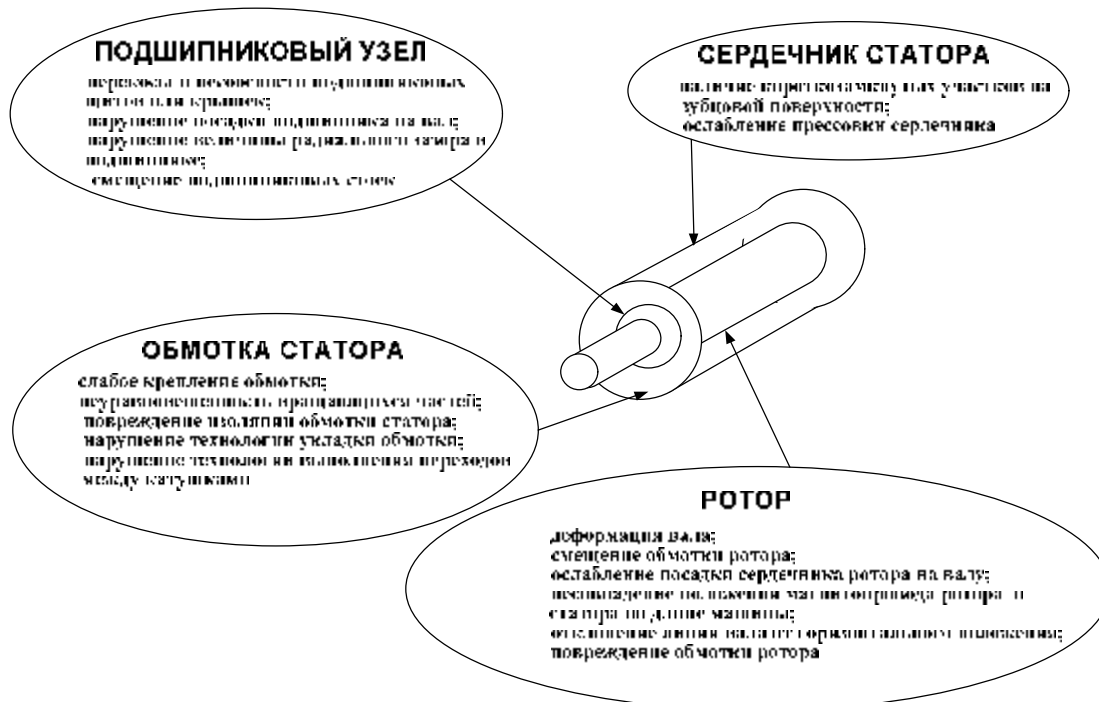


Рисунок 1 – Виды повреждений конструктивных элементов и узлов, формирующих основной поток отказов АД

При всем многообразии выделенных видов дефектов их влияние на снижение показателей надежности рассматриваемых узлов и АД в целом сводится к ухудшению вибрационных характеристик и тепловых режимов работы.

Причины возникновения вибраций носят динамический и электромагнитный характер. Первый обусловлен конструктивными недостатками, дефектами, повреждениями двигателя при установке на рабочее место и т.п. Электромагнитные вибрации являются результатом возникновения односторонней силы магнитного притяжения, которая вызвана нарушением магнитной или электрической симметрии статора или ротора. При этом электрическая асимметрия возникает вследствие повреждения обмоток или их неправильного соединения, а магнитная может быть вызвана неравномерностью зазора между статором и ротором, а также неравномерным распределением свойств стали сердечника статора.

На данный параметр дополнительно влияют выработка подшипников, деформация их посадочных поверхностей, изгиб вала и т.п.

Превышения температуры обмотки статора, при постоянстве условий охлаждения вызываются изменением потерь как в ней самой, так и в других частях АД. Непосредственно перегрев статорной обмотки определяется потерями в меди и стали при дополнительном ухудшении теплоотвода через сердечник, а суммарные потери дают общее превышение температуры и позволяют спрогнозировать процессы теплового старения изоляции. Дефекты и нарушения структуры изоляции могут быть внесены и на ремонтных участках при нарушении технологии сушки, сборке, транспортировке, монтаже машин.

Таким образом, все выделенные виды дефектов являются в той или иной мере причинами возникновения вибраций, перегрева и как конечный результат – выхода из строя АД.

Учет значений вибрации и перегрева обмотки, а также их совместного влияния в моделях надежности АД позволяет прогнозировать их повторный выход из строя для заданных условий эксплуатации. Для этого необходима разработка новых моделей надежности, аналогичных полученным в [4], и учитывающих влияние рассматриваемых видов дефектов непосредственно на показатели надежности.

Кроме этого, система сертификации должна обеспечивать учет всей информации по ремонтным на предприятии АД и расчет на ее основе необходимых технических и эксплуатационных показателей.

В процессе разработки структуры системы предполагалось:

1. На текущий момент в электромеханических подразделениях, осуществляющих ремонт АД и даже на специализированных энергоремонтных предприятиях отсутствует какая-либо автоматизированная система организации ремонтов и послеремонтной сертификации, позволяющая комплексно подойти к прогнозированию их параметров.

2. В случае выхода из строя электрической машины, в цехе, где она приписана, заполняют ее простой паспорт с указанием технических данных (если

таковые имеются), типа отказа и даты предыдущего ремонта.

3. Информация по предыдущим ремонтам практически всегда отсутствует, хотя в ходе исследования было установлено, что машина может попадать в ремонт несколько раз и поэтому специалистам ремонтной службы трудно установить, что именно привело к данной неисправности.

Все перечисленное выше обусловило разработку и необходимость внедрения такой автоматизированной системы сертификации, которая давала бы возможность проследить за интенсивностью отказов для различных типов АД и сделать выводы о влиянии процессов ремонта и эксплуатации на их эксплуатационную надежность. Внедрение подобных систем дает возможность спрогнозировать возможные аварийные ситуации и заблаговременно произвести замену оборудования.

В связи со старением парка АД с каждым днем растет необходимость в закупке нового оборудования. Это в свою очередь требует, чтобы подобная система могла дать информацию, в каких именно машинах нуждается или в скором времени будет нуждаться предприятие, а также, что немаловажно, машинам какого изготовителя следует отдавать предпочтение.

Еще одним из важных показателей является динамика ремонтов по структурным подразделениям предприятия, зная или предполагая которую, можно составить план необходимых замен АД, которые на данный момент пересекли черту предельного для эксплуатации физического износа.

Таким образом, внедрение автоматизированной системы сертификации дает возможность повысить оперативность организации ремонтов, производительность труда, увеличить срок межремонтной эксплуатации АД.

Предлагаемая структура системы сертификации, результатом работы которой является вывод прогнозируемых паспортных данных и характеристик АД должна включать в себя следующие составляющие: подсистема видеонаблюдения дефектов основных конструктивных элементов, база данных по фонду ремонтируемых машин, математическое ядро для выполнения необходимых расчетов по прогнозированию параметров, внутренняя структура которых более подробно представлена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, входная информация для системы сертификации может представлять собой просто заявку на ее ремонт.

В случае, если АД имеет инвентарный номер и табличку с паспортными данными, ввод такой информации максимально облегчен. При отсутствии заводских паспортных данных они могут быть легко восстановлены по типу АД из базы данных БД1 по известной серии, габаритам и высоте вала, которые достаточно просто определить вследствие визуального осмотра.

Отсутствие инвентарного номера существенно ограничивает ряд функций прогнозирования послеремонтных параметров по причине недостатка информации о состоянии и виде повреждений основных незаменимых конструктивных элементов и уз-

лов, а также по их изменению в процессе эксплуатации машины. Для этого в системе предусмотрена возможность восстановления инвентарного номера АД в результате оценки состояния заменяемых узлов и их элементов, к которым следует в первую очередь отнести вал ротора, посадочные места под-

шипников, ребра и основание корпуса, кожух вентилятора, т.е. все узлы, повреждения которых могут носить идентификационный характер. На рис. 3-4 представлены примеры возможных повреждений корпуса и вала АД.

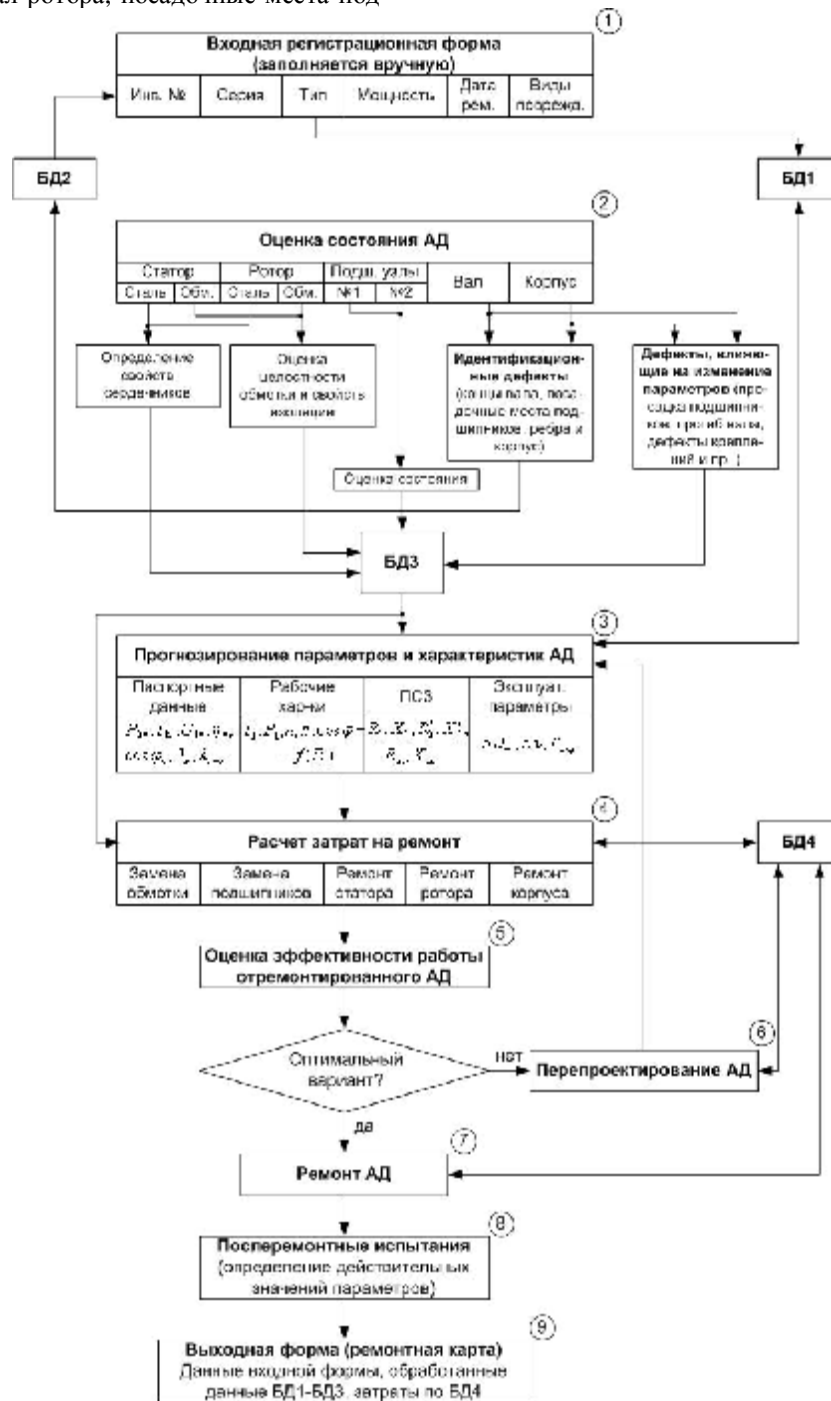


Рисунок 2 – Структура системы сертификации

Оценка дефектов исследуемых узлов и элементов может проводиться при использовании на участке разборки АД системы видеоидентификации, представляющей собой цифровую камеру, сопряженную с персональным компьютером (ПК) [1].

Принцип обработки изображения с целью определения дефектов для дальнейшей идентификации

по базе данных заключается в выполнении следующей последовательности процедур: нормировании яркости освещения, выделение контуров исследуемого изображения, бинаризация полученных очертаний. Координаты выявленных дефектов, с учетом информации о типе двигателя и его геометрии, позволяют автоматически определить области иден-

тификаційних пошкоджень. При цьому розділення зображення при його обробці на блоки з різним рівнем деталізації учасків, як було показано в [5], дає можливість швидкого і достовірного об'явлення пошкоджень.

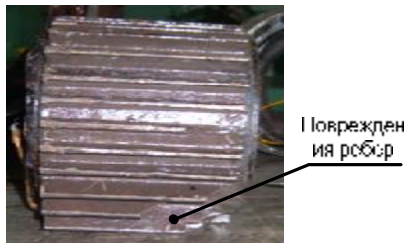


Рисунок 3 – Приклади пошкодження корпусу АД



Рисунок 4 – Приклади пошкодження вала АД

При знаходженні АД з подібними видами дефектів в базі БД2 дані сопоставляються і безпосередньо здійснюється ідентифікація, в протилежному випадку в ній створюється нова учетна запис.

З метою мінімізації об'єму ідентифікаційної інформації в БД2 зберігається не зображення двигача а локалізація і ступінь пошкодження його конструктивних елементів, що проілюстровано на рис. 5.

Зберігання карти поверхні і прогресії розвитку дефектів в достатньо стислій текстовій формі дозволить знизити об'єм зберігаємої інформації в два рази від початкового зображення.

Далі виробляється відеоідентифікація стану незамінюваних вузлів АД на предмет наявності дефектів в відповідності з рис. 1. Знайдені дефекти зберігаються в базі БД3 в формі чисельних відхилень для вигибу ротора і просадки підшипникових вузлів або в формі текстових коментарієв для дефектів кріплень. Крім цих даних, в БД3 зберігаються результати локального тестування маг-

нитних систем статора і ротора, а також дані випробувань їх обмоток, властивості і характеристики встановлених підшипників.

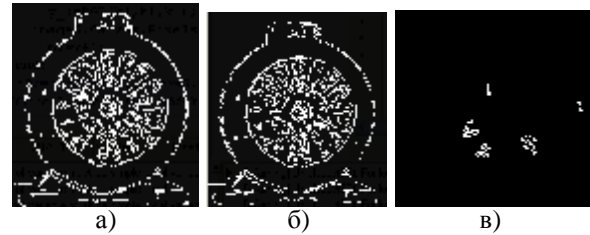


Рисунок 5 – Результати роботи програми обробки зображення:

а) вихідне контурне зображення; б) контурне зображення при пошкодженні кожуха вентилятора і бокової вмятині; в) виявлені нові дефекти

Далі виробляється відеоідентифікація стану незамінюваних вузлів АД на предмет наявності дефектів в відповідності з рис. 1. Знайдені дефекти зберігаються в базі БД3 в формі чисельних відхилень для вигибу ротора і просадки підшипникових вузлів або в формі текстових коментарієв для дефектів кріплень. Крім цих даних, в БД3 зберігаються результати локального тестування магнитних систем статора і ротора [3], а також дані випробувань їх обмоток, властивості і характеристики встановлених підшипників.

Математичне ядро системи представляє собою комплекс програмних засобів для розрахунок прогнозуваних паспортних даних, робочих характеристик, параметрів схеми заміщення і експлуатаційних параметрів АД. З цією метою можуть використовуватися стандартні перевіряючі методики заводів-виробників. Початкові дані по геометрії і конструктивним елементам беруться з бази БД1, дані, що характеризують стан вузлів – з бази БД3.

Розрахунок надійності АД виробляється з використанням інформації про пошкодження по розрахунковим залежностям взаємозв'язки основних видів дефектів з рівнем вібрації і перевищення температури обмоток для заданих умов експлуатації і режимів роботи АД. На основі узагальненої статистическої моделі відмов прогнозується строк служби ремонтуємої машини, з указанням допустимих умов і режимів її роботи.

Для розрахованого АД виконується оцінка затрат на наступний ремонт і оцінюються показателі ефективності експлуатації, що характеризують відношення витрати електроенергії при виконанні технологічних операцій до загального часу наработки на відмову. Затрати на ремонт розраховуються на основі інформації про кількість матеріалів, витрачених на відновлення або модернізацію в процесі виконання ремонту.

В випадку, якщо результати оцінки не задовольняють замовника, система передбачає варіант перепроектування або модернізації АД шляхом варіювання коефіцієнта заповнення паза, змінення обмоточних даних, підвищення нагрово-

стойкости изоляции и т.п., с целью поиска варианта с оптимальным сочетанием энергопотребления и надежности при условии соответствия требованиям, предъявляемым со стороны технологического оборудования. Для полученного варианта окончательно пересчитываются все необходимые параметры и затраты, которые сохраняются в итоговой БД АД.

Наличие результатов послеремонтных испытаний позволит корректировать в процессе эксплуатации применяемые расчетные методики с целью повышения их уровня достоверности.

Результатом работы системы сертификации является заполнение ремонтной карты с указанием всех данных БД1-БД4 и разработкой рекомендаций по эксплуатации отремонтированного АД.

С целью реализации предполагаемых возможностей и выполнения поставленных требований, для создания программного обеспечения системы сертификации наиболее целесообразным является использование среды разработки приложений Delphi, которая позволяет не только спроектировать сложные БД, но благодаря упрощенному формату синтаксиса программных блоков реализовать ряд функций и процедур с наименьшими затратами времени. Ориентация на создание Windows приложений обеспечивает расширение возможностей по их применению и делает разработанный интерфейс более доступным для пользователей. Пример окна базы данных разрабатываемой системы сертификации показан на рис 6.

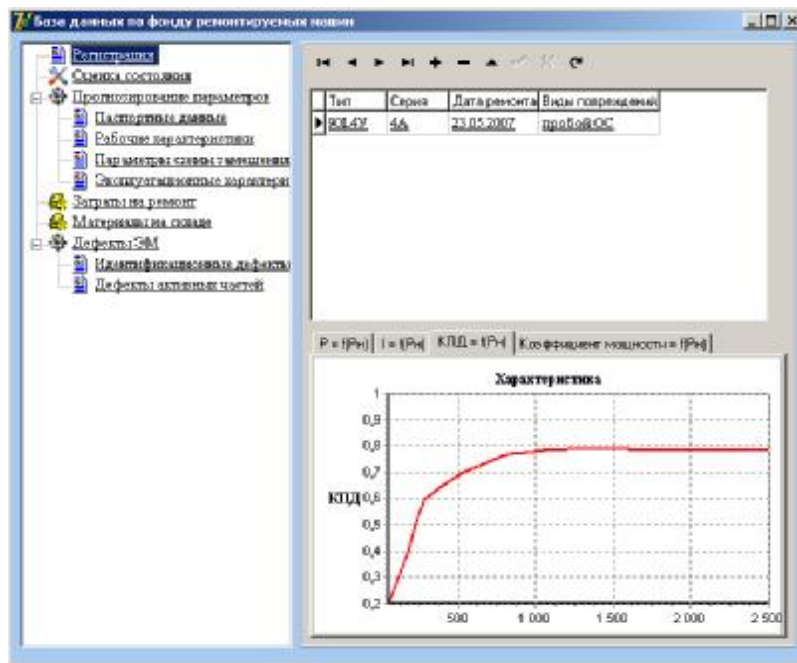


Рисунок 6 – Окно базы данных системы сертификации АД

**Выводы.**

1. В работе обоснована необходимость создания и разработана структура системы сертификации АД, реализующей функции прогнозирования послеремонтного изменения паспортных данных, рабочих характеристик, параметров схемы замещения и эксплуатационных характеристик с учетом реального состояния основных конструктивных элементов и узлов, изменяющегося в ходе их физического старения.

2. Обоснованы задачи системы сертификации и предложены варианты и подходы по их решению.

3. Сформулировано условие повышения эффективности эксплуатации отремонтированных АД, состоящее в достижении оптимального сочетания энергопотребления и надежности, что может быть реализовано в ходе перепроектирования обмоточных данных АД.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Гольдберг О.Д. Качество и надежность асинхронных двигателей. – М.: Энергия, 1968. – 176 с.

2. Гольдберг О.Д. и др. Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.

3. Прус В.В. Діагностика електротехнічної сталі статорів та паспортизація асинхронних двигунів в процесі ремонту: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.01 / Національна академія наук України, Інститут електродинаміки. – К., 2003. – 19 с.

4. Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин. – М.: Высшая школа, 1988. – 232 с.

5. Прус В.В., Конох И.С., Ахметшина М.В. Разработка системы сертификации асинхронных двигателей на основе их видеоидентификации в процессе ремонта // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. праць КДПУ. – Вип. 4/2007 (45). – Кременчуг: КДПУ. – С. 102-107.

Стаття надійшла 08.05.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.