

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ) (2.3.3)

УДК 621.311

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-128-132

## Модель управления жизненным циклом подшипников паровых турбин тепловых электрических станций с использованием цифровых технологий

С.В. Мезин, А.В. Благочиннов

Рассмотрены проблемы контроля состояния подшипников — одних из важных узлов паровых турбоустановок, информация о жизненном цикле которых в настоящее время на тепловых и атомных станциях практически отсутствует. Представлена модель автоматизированной системы управления жизненным циклом подшипника (АСУ ЖЦП) с использованием цифровых технологий, в которой по принципам интероперабельности данные поступают из всех информационных систем, участвующих в управлении жизненным циклом узла на всех этапах (проектирования, производства, эксплуатации и ремонта). Использование данной системы на предприятиях энергетики обеспечит создание устойчивых информационных связей между персоналом разработчика (турбинных заводов) и эксплуатирующим персоналом, а также повысит качество оборудования и его конкурентоспособность.

*Ключевые слова:* подшипники паровых турбин, диагностика, жизненный цикл, цифровые технологии.

*Для цитирования:* Мезин С.В., Благочиннов А.В. Модель управления жизненным циклом подшипников паровых турбин тепловых электрических станций с использованием цифровых технологий // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 128—132. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-128-132.

## A Model for Managing the Lifecycle of Thermal Power Plant Steam Turbine Bearings Using Digital Technologies

S.V. Mezin, A.V. Blagochinnov

The article discusses the problems of monitoring the condition of bearings, which are among the important components of steam turbine installations, the information about the lifecycle of which at thermal and nuclear power plants is currently not available almost completely. A model of an automated bearing lifecycle management system (ABLMS) based on digital technologies is presented, in which, according to the principles of interoperability, data come from all information systems involved in managing the component lifecycle at all its stages (designing, manufacture, operation, and repair).

The use of this system at power industry enterprises will make it possible to set up stable information links between the developer's personnel (turbine manufacturing plants) and operating personnel, and enhance the quality of equipment and its competitiveness.

*Key words:* steam turbine bearings, diagnostics, lifecycle, digital technologies.

*For citation:* Mezin S.V., Blagochinnov A.V. A Model for Managing the Lifecycle of Thermal Power Plant Steam Turbine Bearings Using Digital Technologies. Bulletin of MPEI. 2022;5:128—132. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-5-128-132.

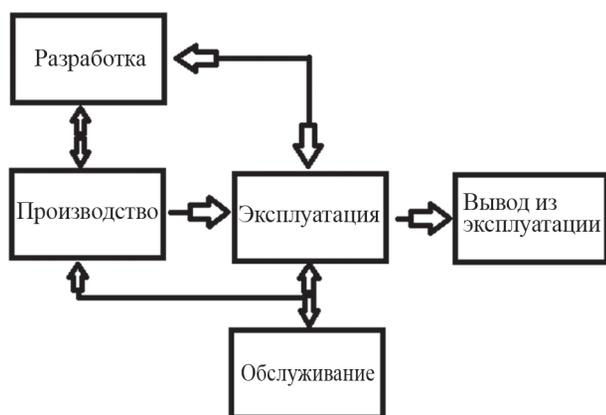
## Введение

Теплоэнергетика — одна из немногих отраслей экономики по количеству установленного оборудования, оснащенного минимальным количеством средств передачи данных о текущем состоянии в цифровом виде, и защите передачи данных в сеть. Кроме того, новые электростанции, основное и вспомогательное оборудование проектируются практически без учета последующей интеграции в цифровую энергетику [1]. Не стали исключением и подшипники паровых турбин. Диагностическое обеспечение данного узла, существующее в настоящее время, включает в себя комплекс взаимосвязанных параметров и средств диагностирования на всех этапах жизненного цикла, но не позволяет оперативно и достоверно оценить рабочий процесс в подшипнике ввиду отсутствия соответствующих показателей и методов. Следствием является затрудненность в установлении необходимых периодичности и содержания профилактических и ремонтных действий для поддержания работоспособного состояния элемента, а также в обнаружении его критического состояния, что приводит к аварийным остановам паровой турбины, преждевременному ремонту и дополнительным затратам [2].

В интересах тепловой электрической станции важно построить такую модель жизненного цикла подшипника, с помощью которой эволюция его во времени может быть описана как движение от одной стадии развития к другой, где стадия — это интервал времени, относящийся к определенному состоянию реализации подшипника (рисунок) [3].

## Этап проектирования

Жизненный цикл подшипников паровых турбин начинается с его проектирования, для чего используют специфические системы моделирования и автоматизации проектирования (САПР). По окончании формируется спецификация элементов и узла, являющих-



Модель жизненного цикла подшипника с различными способами прохождения стадий

ся функциональным звеном между производством и проектированием [4]. На данном этапе складываются требования к обслуживанию функционального узла в целом: периодичность и объем технического обслуживания и ремонта (ТОиР), условия технологической оснастки, разработка эксплуатационной, конструкторской, технологической и ремонтной документации, требования к оборудованию, системе эксплуатации, а также ремонту подшипников паровых турбин.

## Информация заводов

У завода-изготовителя есть собственная система управления, автоматизированная ERP, MES и иные классические системы управления предприятием. В процессе производства выдается информация об оборудовании и поставщиках, даты изготовления и результаты испытаний. В конечном результате формируется паспорт изделия: «эксплуатационный документ, содержащий в себе данные об основных параметрах и характеристиках подшипника, сведения о его сертификации и утилизации». В соответствии с [5] в паспорте указаны основные технические данные, комплектность, требования к эксплуатации и хранению, ресурс, срок службы и хранения, гарантии изготовителя (поставщика), консервация, свидетельство о приемке, сведения об упаковке, движение изделия в эксплуатации, ремонт и сведения об утилизации.

Таким образом, информация жизненного цикла узла паровой турбоустановки начинает формироваться на первом этапе, после чего дополняется более точными данными.

## Этап эксплуатации и диагностики

Основной объем информации жизненного цикла подшипника связан с эксплуатацией, диагностикой и выполнением ТОиР, информация о которых находится в АСУ энергоблоков и на заводах. Возможен вариант создания системы сбора диагностических данных с определением индекса технического состояния (ИТС). Актуальность новых подходов к определению фактического технического состояния подшипников паровых турбин обоснована необходимостью перехода на такой способ управления объектами, при котором техническое обслуживание, вывод из эксплуатации, ремонт, замена, перевооружение и модернизация проводятся на основе знания показателей технического состояния подшипника и прогнозов его изменения с учетом развивающихся тенденций. Если своевременно установить количественные показатели индекса технического состояния и использовать методы обработки больших массивов информации, то это сократит капитальные и операционные затраты на производство и передачу электрической энергии в целом [6]. Для получения информации о ИТС необходим его расчет. Авторами предложен следующий метод.

Все оборудование и сооружения объектов электроэнергетики с детализацией узлов и параметров технического состояния из методички Минэнерго 2017 г. были перенесены в таблицу MS Excel [7]. В нее вошло полное описание состояния системы, которое отражается совокупностью определяющих параметров каждого функционального узла. В нашем случае — это подшипники турбины. В число данных, вносимых в таблицу, вошли:

- максимальные величины вибрации подшипниковых опор (вертикальная, осевая и горизонтальная составляющие);
- дефекты подшипников;
- максимальная температура баббита вкладышей (колодок) подшипников.

При формировании данных параметров приоритет отдан тем, что удовлетворяют требованиям достоверности и избыточности информации о техническом состоянии узла в реальных эксплуатационных условиях. На практике часто используют несколько диагностических параметров одновременно. Естественно, что количество измеряемых элементов определяется типами приборов для диагностики системы [8, 9]. Для функционального узла (подшипника) формируются параметры, характеризующие текущее состояние оборудования в дополнение к используемым в методике [7], предусматривающие возможность получения параметров автоматизированным путем. Следует понимать, что все предлагаемые дополнительные диагностические параметры должны обладать рядом свойств [8]:

- чувствительностью;
- шириной изменения;
- однозначностью;
- стабильностью;
- информативностью;
- периодичностью регистрации;
- доступностью и удобством измерения.

Для расчета индекса технического состояния необходимо знать оценку состояния оборудования (предоставляет изготовитель или устанавливается при испытаниях и мониторинге). Диагностическая оценка

функционального узла, умноженная на вес функционального узла, позволяет получить индекс технического состояния в баллах (оценивается по столбальной шкале) [10].

Для автоматизации процесса генерирования чисел случайным образом разработана программно-генерирующая модель, позволяющая определять техническое состояние подшипника.

#### Этап обслуживания и ремонта

Главная информация о надёжности подшипника, стоимости и продолжительности ТОиР для функционирования рассматриваемой модели должна формироваться компаниями, занимающимися ремонтом в АСУ ТОиР, где налажен учёт отказов и регистрации длительности их устранения, трудовых затрат, использованных запасных частей и материалов [8]. Данная информация — основной источник данных о техническом обслуживании и ремонте подшипников. Например, одной из важнейших операций, которой уделяется максимальное внимание, считается вскрытие корпусов подшипников и их разборка. При вскрытии крышки корпуса подшипника необходимо проверить натяг по верхней колодке вкладыша (обоймы) подшипника, а при разборке — обязательно выполнить замеры верхнего и боковых зазоров, а также посмотреть прилегание центрирующих колодок к расточке корпуса подшипника [11 — 13]. Эти сведения необходимы для выбора решения по требуемому объёму ремонта паровой турбины и анализа работы турбины до него. Все выполненные замеры следует занести в базу данных для анализа жизненного цикла.

В результате анализа схемы интероперабельности данных жизненного цикла подшипников паровых турбин (таблица) сделан вывод о целесообразности создания единой системы управления базами данных (СУБД) (на основе одной из известных (DB-2, Oracle, SQL-Server и др.)) жизненного цикла подшипников паровых турбин, которая будет собирать информацию на всех этапах процесса (проектирования и изготовления подшипника, данные эксплуатирующих орга-

#### Информация жизненного цикла и ее источники

Наименование	Источник
Информация о производстве, дате изготовления, результатах испытания	АСУ завода
Технологические карты ТОиР, периодичность, объём и стоимость ТОиР	АСУ завода
Работа турбины с указанием часов, рабочих состояний (остановов, пусков), параметров	АСУ энергоблока станции
Диагностические данные	АСУ диагностики
Замечания по работе подшипников	Оперативный журнал, АСУ ТОиР
Прогнозируемые графики ремонта подшипника	АСУ ТОиР
Окончание цикла. Списание	АСУ энергоблока станции, АСУ ТОиР

низаций, сервисных компаний и ремонтных заводов) [14, 15].

### Заключение

Одно из важных свойств представленной схемы — то, что все приведённые информационные системы могут развиваться независимо друг от друга и иметь собственные программные платформы. Интеропера-

бельность обеспечивается договорённостью сторон о формате данных и правами пользования ими.

Внедрение новых цифровых технологий для управления жизненным циклом важных узлов турбины позволит изменить обычную иерархическую систему сбора, хранения и передачи данных и переведет ее в более устойчивое коллективное управление, которое особенно необходимо предприятиям энергетики.

### Литература

1. **Kumar A., Kumar R.** Role of Signal Processing, Modeling and Decision Making in the Diagnosis of Rolling Element Bearing Defect: a Review // *J. Nondestructive Evaluation*. 2019. V. 38(1). Pp. 5—34.
2. **Attoui I. e. a.** Novel Predictive Features Using a Wrapper Model for Rolling Bearing Fault Diagnosis Based on Vibration Signal Analysis // *Intern. J. Advanced Manufacturing Technol.* 2020. V. 106. Pp. 3409—3435.
3. **Alexander I., Beus-Dukic L.** Discovering Requirements: How to Specify Products and Services. N.-Y.: John Wiley & Sons, 2009.
4. **ГОСТ 2.601—2006.** Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Эксплуатационные документы.
5. **Грabcак Е.П.** Оценка технического состояния энергетического оборудования в условиях цифровой экономики // *Надежность и безопасность энергетики*. 2017. Т. 10. № 4. С. 268—274.
6. **Осотов В.Н.** Некоторые аспекты оптимизации системы диагностики силового электрооборудования на примере Свердловэнерго: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. техн. ун-та, 2000.
7. **Приказ Минэнерго Российской Федерации № 676** от 26 июля 2017 г. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей.
8. **Andruşcă M. e. a.** Using Fuzzy Logic for Diagnosis of Technical Condition of Power Circuit Breakers // *Proc. Intern. Conf. Exposition on Electrical and Power Eng.* 2014. Pp. 268—273.
9. **Mardanov N.** Monitoring of the Technical Condition of the Rotating Machines // *Informatics and Control Problems*. 2019. V. 39(2). Pp. 1—7.
10. **Kuryanov V.N., Sultanov M.M., Kuryanova E.V., Skopova E.M.** Mathematical Model of the Processes of Restoration of Power Equipment in Power Systems by Criterion of the Index of Technical Condition // *J. Physics: Conf. Series*. 2020. V. 1683. P. 040241.
11. **Бродов Ю.М., Родин В.Н.** Ремонт паровых турбин. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. техн. ун-та, 2002.
12. **Новиков В.А.** Технология производства и монтажа паровых и газовых турбин. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. техн. ун-та, 2009.
13. **Капелович Б.Э., Логинов И.Г.** Эксплуатация и ремонт паротурбинных установок. Л.: Энергоатомиздат, 1988.

### References

1. **Kumar A., Kumar R.** Role of Signal Processing, Modeling and Decision Making in the Diagnosis of Rolling Element Bearing Defect: a Review. *J. Nondestructive Evaluation*. 2019;38(1):5—34.
2. **Attoui I. e. a.** Novel Predictive Features Using a Wrapper Model for Rolling Bearing Fault Diagnosis Based on Vibration Signal Analysis. *Intern. J. Advanced Manufacturing Technol.* 2020;106:3409—3435.
3. **Alexander I., Beus-Dukic L.** Discovering Requirements: How to Specify Products and Services. N.-Y.: John Wiley & Sons, 2009.
4. **GOST 2.601—2006.** Edinaya Sistema Konstruktorstroy Dokumentatsii (ESKD). Ekspluatatsionnye Dokumenty. (in Russian).
5. **Grabchak E.P.** Otsenka Tekhnicheskogo Sostoyaniya Energeticheskogo Oborudovaniya v Usloviyakh Tsifrovoy Ekonomiki. *Nadezhnost' i Bezopasnost' Energetiki*. 2017;10;4 268—274. (in Russian).
6. **Osotov V.N.** Nekotorye Aspekty Optimizatsii Sistemy Diagnostiki Silovogo Elektrooborudovaniya na Prime-re Sverdlovenergo: Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo Gos. Tekhn. Un-ta, 2000. (in Russian).
7. **Приказ Минэнерго Rossiyskoy Federatsii № 676** ot 26 Iyulya 2017 g. Ob Utverzhdenii Metodiki Otsenki Tekhnicheskogo Sostoyaniya Osnovnogo Tekhnologicheskogo Oborudovaniya i Liniy Elektropredachi Elektricheskikh Stantsiy i Elektricheskikh Setey. (in Russian).
8. **Andruşcă M. e. a.** Using Fuzzy Logic for Diagnosis of Technical Condition of Power Circuit Breakers. *Proc. Intern. Conf. Exposition on Electrical and Power Eng.* 2014;268—273.
9. **Mardanov N.** Monitoring of the Technical Condition of the Rotating Machines. *Informatics and Control Problems*. 2019;39(2):1—7.
10. **Kuryanov V.N., Sultanov M.M., Kuryanova E.V., Skopova E.M.** Mathematical Model of the Processes of Restoration of Power Equipment in Power Systems by Criterion of the Index of Technical Condition. *J. Physics: Conf. Series*. 2020;1683:040241.
11. **Brodov Yu.M., Rodin V.N.** Remont Parovykh Turbin. Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo Gos. Tekhn. Un-ta, 2002. (in Russian).
12. **Novikov V.A.** Tekhnologiya proizvodstva i montazha parovykh i gazovykh turbin. Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo Gos. Tekhn. Un-ta, 2009. (in Russian).
13. **Kapelovich B.E., Loginov I.G.** Ekspluatatsiya i Remont Paroturbinykh Ustanovok. L.: Energoatomizdat, 1988. (in Russian).

14. **Tatarinov V.V.** Model for the Formation of the Requirements for Information Technology Used in the Digital Economy Ecosystem // Proc. AIP Conf. 2019. V. 2195(1). P. 020059.

15. **Комшин А.С.** Математическое моделирование измерительно-вычислительного контроля электромеханических параметров турбоагрегатов фазохронометрическим методом // Измерительная техника. 2013. № 8. С. 12—15.

14. **Tatarinov V.V.** Model for the Formation of the Requirements for Information Technology Used in the Digital Economy Ecosystem. Proc. AIP Conf. 2019; 2195(1):020059.

15. **Komshin A.S.** Matematicheskoe Modelirovaniye Izmeritel'no-vychislitel'nogo Kontrolya Elektromekhanicheskikh Parametrov Turboagregatov Fazokhronometricheskim Metodom. Izmeritel'naya Tekhnika. 2013; 8:12—15. (in Russian).

#### Сведения об авторах:

**Мезин Сергей Витальевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами НИУ МЭИ, e-mail: MezinSV@mpei.ru

**Благочиннов Алексей Викторович** — аспирант кафедры автоматизированных систем управления тепловыми процессами филиала «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

#### Information about author:

**Mezin Sergey V.** — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., NRU MPEI, e-mail: MezinSV@mpei.ru

**Blagochinnov Aleksey V.** — Ph.D.-student of Automated Control Systems for Thermal Processes Dept., Branch of NRU MPEI in Volzhsky

**Работа выполнена при поддержке:** государственного задания Российской Федерации FSWF-2020-0025 «Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий».

**The work is executed at support:** The State Task of the Russian Federation FSWF-2020-0025 "Development of Methods and Analysis of Ways to Achieve a High Level of Safety and Competitiveness of Energy System Facilities Based on Digital Technologies".

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest

**Статья поступила в редакцию:** 14.03.2022

**The article received to the editor:** 14.03.2022