



Для цитирования

Степанов М. А. Оценка распределения изгибных напряжений и дефектов внутри симметричных поперечных сечений стальной балки / М. А. Степанов, А. П. Степанов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 22–31. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).22–31

For citation

Stepanov M. A., Stepanov A. P. Otsenka raspredeleniya izgibnykh napryazhenii i defektov vnutri simmetrichnykh poperechnykh sechenii stal'noi balki [Estimation of the distribution of flexural stresses and defects inside symmetrical cross-sections of a steel beam]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovaniye* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 22–31. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).22–31

УДК 621.398

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).31–37

И. А. Щербатов

Московский энергетический институт, г. Москва, Российская Федерация

Дата поступления: 14 мая 2019 г.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация. В статье отмечается необходимость разработки метрических показателей оценки степени интеллектуальности информационных систем управления ремонтами, направленных на повышение эффективности планирования и реализации ремонтных программ предприятий энергетики. Показано, что за счет применения методов искусственного интеллекта существует возможность реализации мощных программных продуктов и систем, использующих функционал мониторинга, диагностики, прогнозирования и принятия решений в области применения стратегии ремонта энергетического оборудования по его фактическому техническому состоянию. Использование данных методов приводит к автономности и интеллектуальности функционирования систем управления ремонтами, поэтому актуальной является задача разработки соответствующих метрических показателей, которые позволят оценить степень интеллектуальности разрабатываемых и используемых информационных систем предприятий энергетики. В работе приводятся такие показатели и представлен расчетный пример, демонстрирующий последовательность соответствующих расчетов. Сформулированы рекомендации по применению метрических показателей оценки степени интеллектуальности систем управления ремонтами предприятий энергетики.

Ключевые слова: система управления ремонтами, энергетика, интеллектуальная система, информационная система, автономность, компонента, нечеткие множества.

I. A. Shcherbatov

Moscow Power Engineering Institute, Moscow, the Russian Federation

Received: May 14, 2019

INTELLECTUALIZATION OF INFORMATION FOR POWER PLANTS REPAIR MANAGEMENT SYSTEMS

Abstract. The paper highlights the need to develop metric indicators to assess the degree of information management systems repairs intelligence, which are aimed at improving the efficiency of planning and implementation of energy enterprises repair programs. It is shown that due to the use of artificial intelligence methods, it is possible to implement powerful software products and systems that employ the functionality of monitoring, diagnosis, forecasting and decision-making in the field of energy equipment repair strategy according to its actual technical condition. The use of these methods leads to the autonomy and intelligence of the repair management systems operation, so the actual task is to develop appropriate metric indicators that would allow assessing the degree of intelligence of the developed and used information systems of energy enterprises. The paper shows such indicators and provides an example of the design, demonstrating the sequence of the corresponding calculations. The recommendations on the use of metric indicators to assess the degree of intelligence of management systems of energy enterprises are formulated.

Keywords: repair management system, energy, intelligent system, information system, autonomy, component, fuzzy sets.

Введение

Поддержание оборудования предприятий энергетики в надлежащем техническом состоянии обеспечивает бесперебойные поставки энергии (как тепловой, так и электрической) потребителям,

а также организацию безаварийной эксплуатации объектов энергетики, что является крайне важной задачей в силу их высокой опасности. Процесс обеспечения заданной надежности и требуемого технического состояния энергетического оборудо-



вания сопровождается своевременным проведением профилактических и ремонтных работ, при этом качество и скорость выполнения последних является ключевым аспектом. Следовательно, необходимо обеспечить правильную организацию управления ремонтами, а значит, для этих целей нужно разрабатывать и применять не только высокоэффективные методики планирования и проведения ремонтов, но и программные средства автоматизации этой деятельности.

Управление ремонтами на энергетических предприятиях является одной из приоритетных задач, так как обеспечивает поддержание технологического оборудования в надлежащем техническом состоянии [1]. Для целей управления ремонтами разрабатываются и внедряются различные информационные системы и технологии, которые автоматизируют основные операции учета оборудования и кабельных линий, планирования регламентных мероприятий (ремонтов, осмотров, диагностики, испытаний и др.), а также контроль эффективности их выполнения. Такого рода системы выступают как в качестве самостоятельных программных продуктов, так и являются частью более крупных систем, например, систем класса EAM (Enterprise Asset Management), обеспечивающих управление производственными активами и основными фондами предприятий энергетики в целом [2].

Различные виды ремонтов организуются в строгом соответствии с графиком или программой, синтезируемой с указанными информационными системами. Распределение работ производится на основе различных алгоритмов и методов планирования, базирующихся на результатах оценивания технического состояния единиц оборудования [3–4]. Системы и методы измерения или расчета показателей, характеризующих техническое состояние энергетического оборудования, могут быть использованы для формирования оценок условий, в которых оно функционирует, выявления дефектов, зарождающихся в процессе эксплуатации, а также для получения диагностической информации о причинах, предшествующих сбою, отказу или аварии [5]. Существуют автоматизированные системы, призванные формировать интеллектуальные стратегии технического обслуживания, позволяющие определить актуальное техническое состояние энергетического оборудования в процессе его эксплуатации для прогнозирования проведения мероприятий по техническому обслуживанию и выполнению ремонтных программ [6].

Степень автоматизации функционала таких систем зависит, в том числе, и от использования современных технологических решений, базирующихся на методах их интеллектуализации, например, на основе искусственных нейронных сетей [7] или технологиях экспертных систем [8].

Применение методов искусственного интеллекта приводит к появлению свойства автономности при принятии системой планирования и организации ремонтов или системой управления производственными активами решений и ограниченной интеллектуальности в рамках решаемых задач предметной области [9].

Таким образом, актуальной является задача оценки степени интеллектуальности систем управления ремонтами (СУР), так как ее успешное решение позволяет не только оценивать функционал данного подкласса автоматизированных систем, но и планировать его расширение за счет добавления новых функций. При этом выявление такой необходимости осуществляется в процессе эксплуатации программного обеспечения.

Тогда решаемая задача формулируется следующим образом: разработать метрические показатели оценивания степени интеллектуальности СУР в энергетике для целей повышения их функциональности и эффективности при решении задач планирования и организации ремонтов энергетического оборудования.

Система управления ремонтами как система интеллектуальная в целом

Первоначально следует определить те характеристики, свойства, наличие организационных и структурных элементов, которые позволяют относить ту или иную информационную СУР к определенному типу. При этом, во-первых, следует оценить степень интеллектуальности данной СУР, а, во-вторых, синтезировать метрики, обеспечивающие, например, сравнение систем между собой. Литературный обзор показал, что оценке степени автономности и интеллектуальности различных автоматизированных и информационных систем посвящено достаточное количество исследований [10–11]. Однако наиболее полная классификация систем по степени интеллектуальности приведена именно в работе В.М. Лохина и В.Н. Захарова [11].

В книге введены следующие понятия интеллектуальности систем, которые могут быть применимы и к информационным системам в целом и к СУР в частности:

1. «В малом», когда присутствует исполнительный слой и слой работы с базами знаний и



формирования управляющих решений с использованием этих знаний.

2. «В большом», когда в дополнение к двум указанным слоям добавляется слой самообучения и адаптации, позволяющий производить адаптацию моделей и алгоритмов управления и принятия решений.

3. «В целом», когда присутствует также слой прогноза событий, что крайне важно для СУР, которые должны прогнозировать техническое состояние энергетического оборудования для планирования соответствующих мероприятий по поддержанию его в надлежащем техническом состоянии.

Построение интеллектуальной информационной системы производится при строгом следовании пяти основополагающим принципам организации интеллектуальной управляющей структуры [11]. Для удобства и наглядности представлена структурная схема системы управления ремонтами энергетического оборудования интеллектуальная «в целом» (рис. 1).

На нижнем уровне рассматриваемой или разрабатываемой СУР реализуются алгоритмы оптимального составления ремонтной программы. Они обеспечивают распределение работ для конкретных единиц энергетического оборудования с учетом критериев оптимальности по стоимости и трудоемкости производимых работ для обеспечения сбалансированности ремонтной программы в целом (общая стоимость ремонтной программы не должна превышать объем выделенных для этих целей финансовых средств).

Составление ремонтной программы должно производиться с учетом технического состояния оборудования в связи с тем, что ремонт по текущему состоянию является более эффективным в сравнении с системой планово-предупредительных ремонтов [1].

Реализация работ производится с использо-

ванием технологии экспертных систем [12], построенных на основе продукционных баз знаний (БЗ) [13]. Такое решение обеспечивает более эффективную реализацию работ в рамках ремонтной программы в сравнении с существующей, т. е. за счет использования знаний экспертов предметной области, накопленных в процессе многолетней эксплуатации различных типов энергетического оборудования.

Для обеспечения повышения эффективности функционирования СУР она должна иметь в своем составе алгоритмы самообучения и адаптации. Данные алгоритмы применяются для коррекции БЗ (например, продукционных правил и параметров функций принадлежности термов лингвистических переменных, используемых при выводе управляющего решения с применением различных алгоритмов нечеткого вывода), а также подстройки параметров математических моделей единиц энергетического оборудования, которые необходимы для оценивания их актуального (текущего) технического состояния.

Для того чтобы СУР была интеллектуальной «в целом» она должна обладать слоем прогнозирования, в качестве которого выступает блок прогнозирования технического состояния оборудования [14]. Основной функционал данного блока – прогнозирование времени возникновения дефектов и появления отказов (в ряде случаев предаварийных состояний и аварий) энергетического оборудования.

Необходимо отметить, что в силу своей специфики указанные слои рассматриваются как компоненты сложной слабоформализуемой технической системы, функционирующей в условиях неопределенности [15].

Оценка степени интеллектуальности СУР

Введем бинарную оценку $BE_i, i = \overline{1,4}$ наличия (отсутствия) одной из четырех компонент (слоев) в СУР (1 – свидетельство наличия компо-

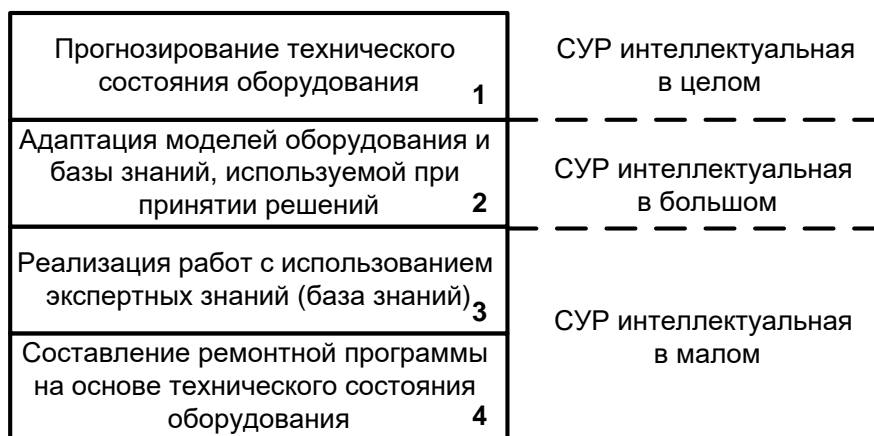


Рис. 1. Система управления ремонтами как система интеллектуальная «в целом»



ненты, а 0 – ее отсутствия) и синтезируем показатель степени ее интеллектуальности, представляющий собой среднее арифметическое наличия слоев:

$$II = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 BE_i. \quad (1)$$

Тогда для систем интеллектуальных в малом $II = 0.5$, в большом $II = 0.75$, а для систем интеллектуальных в целом $II = 1$. В структуре интеллектуальной СУР компоненты взаимосвязаны. Это означает отсутствие возможности существования компоненты более высокого уровня при отсутствии компоненты, расположенной непосредственно под ней в соответствии со структурной схемой (рис. 1).

Таким образом, может быть получена дискретная шкала оценки интеллектуальности СУР энергетического оборудования $[II] = [0, 0.25, 0.5, 0.75, 1]$.

Компонента интеллектуальной системы управления ремонтами энергетического оборудования реализует большое число функций. Этот аспект позволяет утверждать, что с точки зрения ранжирования СУР по степени интеллектуальности существуют промежуточные значения II , и шкала $[II]$ содержит больше, чем пять значений. Каждая конкретная компонента реализует определенный набор функций, соответствующий полной уверенности в том, что СУР обладает данной компонентой (слоем).

Отсутствие ряда функций в конкретной компоненте может свидетельствовать о том, что значение показателя $BE_i < 1$, а значит, использование бинарной оценки, не всегда подходит для оценивания той или иной компоненты интеллектуальной СУР. Это указывает на то, что существует определенный доверительный интервал α , для которого $BE_i = 1$, а затем BE начинает убывать, снижая степени интеллектуальности всей СУР, что означает снижение уверенности (с точки зрения экспертной оценки) в том, что она обладает данной компонентой.

Наличие дополнительных функций у компоненты означает полную уверенность, но не увеличивает при этом значение BE_i . Появляется субъективность в оценке функциональности конкретной компоненты, поэтому представим бинарный показатель BE_i с помощью нечеткого числа BE_i^* , формализующего степень неопределенности и субъективизм в оценке наличия конкретной компоненты и выполняемых ею функций в составе интеллектуальной СУР энергетического оборудо-

вания. Показатель степени интеллектуальности будем задавать трапециевидным нечетким числом, которое представляет собой наиболее достоверный нормализованный классификатор неуверенности оценки, производимой экспертом предметной области.

Координаты оснований трапеции задаются четверкой значений $[a_i, b_i, c_i, d_i]$. Введем допущение о том, что симметрия нечеткого числа BE_i^* соответствует значению BE_i конкретной компоненты СУР, полученному по формуле (1). Тогда нечеткие трапециевидные числа, соответствующие присутствию в системе конкретной компоненты можно задать значениями: $a_i = BE_i - \alpha_i - \beta_i$, $b_i = BE_i - \alpha_i$, $c_i = BE_i + \alpha_i$, $d_i = BE_i + \alpha_i + \beta_i$, где α_i – величина доверительного интервала полной уверенности; β_i – величина пессимистического интервала неуверенности. Значения α_i и β_i выбираются экспертом, проводящим оценивание наличия соответствующей компоненты в составе структуры интеллектуальной СУР энергетического оборудования.

Трапециевидные числа, описывающие усиление степени неуверенности BE_i^{*L} , будут располагаться левее BE_i^* для каждой компоненты интеллектуальной СУР. Расстояние, которое характеризует величину снижения уверенности и, следовательно, уменьшение степени интеллектуальности для конкретной компоненты и СУР «в целом», может быть найдено как разность BE_i^* и BE_i^{*L} : $RL_i^* = BE_i^* \setminus BE_i^{*L}$, где «\» – операция нахождения разности нечетких чисел.

Величина показателя степени интеллектуальности $II_i^* = 1 - def(RL_i^*)$, где $def()$ – оператор приведения к четкости (дефазификации). Тогда с учетом (1) нечеткий показатель степени интеллектуальности системы:

$$II^* = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 II_i^* \quad (2)$$

Коэффициент $1/4$ является нормирующим, приводящим значение II^* к интервалу $[0; 1]$.

Точность вычисления значения нечеткого показателя интеллектуальности СУР по (2) зависит от параметров, участвующих в его вычислении. На основании проведенного исследования [9], в качестве метода приведения к четкости значения II^* выбран метод «наименьший из максимумов»,



как обеспечивающий результат 0 при вычитании BE_i^* самого из себя.

Расчетный пример для вычисления показателя степени интеллектуальности СУР

Пусть в интеллектуальной СУР присутствуют все компоненты (1–4). Это означает, что при оценке ее функциональных возможностей у экспертов предметной области есть полная уверенность в наличии компоненты, отвечающей за оптимальность составления ремонтной программы (компонента 1, $BE_1 = 1$); использование экспертных знаний (компонента 2, $BE_2 = 1$); принятие решения о том, что включение конкретной единицы энергетического оборудования в ремонтную программу производится на основе моделей, адаптирующихся к изменяющимся внешним условиям (компонента 3, $BE_3 = 1$); осуществление прогнозирования технического состояния оборудования, например, на основе статистических или интеллектуальных методов (компонента 4, $BE_4 = 1$).

Тогда, в соответствие с выражением (1), получим $I = \frac{1}{4}(1+1+1+1) = 1$.

Рассматриваемая интеллектуальная СУР энергетического оборудования оперирует формализованным опытом экспертов и эвристиками, таким образом, в реализации ряда функций может появиться неопределенность, обусловленная указанными факторами.

В системе в зависимости от текущей ситуации осуществляется выбор наиболее подходящего метода решения задачи (достижения цели), таким образом, существует неопределенность, обусловленная субъективностью постановки задач при выборе определенного метода решения, так как в системе управления для этих целей применяются эвристики.

Оценка интеллектуальности СУР на основе метрики (1) требует учета неуверенности в наличии требуемых функций в компоненте номер 3. Неуверенность экспертов (наличие неопределенности) будем формализовывать нечеткими трапециевидными числами [9].

Для каждой компоненты сформированы следующие трапециевидные числа: $[0.2; 0.31; 0.39; 0.5]$, $[0.35; 0.46; 0.54; 0.65]$, $[0.6811; 0.7181; 0.7781; 0.8221]$, $[0.85; 0.96; 1.04; 1.15]$. Далее показан пример трапециевидных чисел для оценок, включая правую и левую пессимистичные оценки для компоненты номер один (рис. 2).

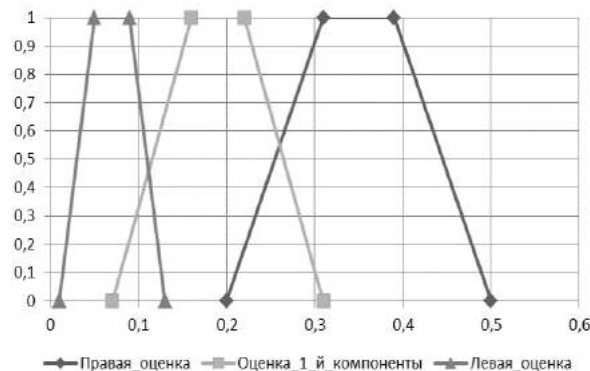


Рис. 2. Оценка в виде трапециевидного числа

Кроме того, для каждой компоненты (слоя) сформированы пессимистичные и оптимистичные оценки по функционалу (сдвинутые влево и вправо по оси абсцисс трапециевидные числа). Тогда в соответствии с выражением (2) нечеткий показатель степени интеллектуальности равен 0,9304.

Заключение

В работе применен комплекс метрических показателей (полученных ранее [9]), которые могут использоваться совместно, дополнять друг друга. Они являются достаточными для оценки автономности и интеллектуальности СУР как в процессе разработки, так и при эксплуатации различных типов оборудования на предприятиях энергетики.

Показанная принципиальная возможность получения численного значения показателя, характеризующего степень интеллектуальности СУР энергетического оборудования, на основе использования информации о наличии соответствующих компонент, позволяет принимать во внимание присутствие неуверенности при оценке функционала и учитывается с применением нечеткого показателя в формуле (2).

Практическая значимость полученных метрик обусловлена возможностью их применения на различных этапах жизненного цикла интеллектуальной СУР энергетического оборудования. На основе использования синтезированных метрических показателей появляется возможность планирования организационно-технических мероприятий по повышению эффективности и интеллектуальности СУР энергетического оборудования.

Представленные показатели позволяют учитывать неопределенность, присутствующую при оценке функциональных возможностей выделяемых в СУР компонент. Указанные аспекты повышают возможности по автоматическому оцениванию автономности и интеллектуальности СУР энергетического оборудования с целью повышения эффективности их функционирования.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2017. 504 с.
2. Кац Б.А. Когда начинать использовать системы ЕАМ // Автоматизация в промышленности. 2010. № 8. С. 43–45.
3. Давиденко И.В., Голубев В.П., Комаров В.И., Осотов В.Н. Структура экспертно-диагностической и информационной системы оценки состояния высоковольтного оборудования // Электрические станции: ежемесячный производственно-технический журнал. 1997. № 6. С. 25–27.
4. Попов Г.В., Игнат'ев Е.Б. Определение индекса технического состояния силовых трансформаторов в процессе их эксплуатации // Вестник ИГЭУ. 2014. № 4. С. 1–8.
5. Park J.K., Kwon B.K., Park J.H., Kang D.J. Machine learning-based imaging system for surface defect inspection. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technologies*. 2016. Vol. 3. No. 3. P. 303–310.
6. Wang J., Ma Y., Zhang L., Gao R.X., Wu D. Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications // *Journal of Manufacturing Systems*. 2018. Vol. 48. P. 144–156.
7. Баширов М.Г., Юмагузин Ю.Ф. Оценка технического состояния оборудования предприятий нефтегазовой отрасли на основе применения техноценологического метода // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. №5. С. 293–302.
8. Попов Г.В., Игнат'ев Е.Б., Виноградова Л.В., Виноградова Ю.Ю., Ворошина Д.А. Экспертная система оценки состояния электрооборудования «Диагностика+» // Электрические станции. 2011. № 5. С. 36–45.
9. Щербатов И.А. Автономность функционирования и степень интеллектуальности сложных технических систем // Информатика и системы управления. 2016. № 3 (49). С. 105–118.
10. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / под ред. А. А. Большакова. М. : Горная линия – Телеком. 2016. 160 с.
11. Лохин В.М., Захаров В.Н. Интеллектуальные системы управления: понятия, определения, принципы построения // В кн. «Интеллектуальные системы автоматического управления» / Под ред. И.М. Макарова, В.М. Лохина. М.: Физматлит. 2001. С. 25–38.
12. Armor A.F. Expert systems for power plants: the floodgates are opening / A.F. Armor // *Power Engineering*. 1989. Vol. 93. - Issue 7. p. 29–33.
13. Davis R., King J. An overview of production systems // *Machine Intelligence*. 1977. Vol. 8. Ellis Horwood Limited, Chichester. p. 300–332.
14. Protalinsky O.M., Shcherbatov I.A., Stepanov P.V. Identification of the actual state and entity availability forecasting in power engineering using neural-network technologies. *Proceedings in Journal of Physics: Conference Series Ser. "International Conference "Problems of Thermal Physics and Power Engineering", PTPPE 2017"* 2017. С. 012289.
15. Щербатов И.А. Глобальная цель сложной слабоформализуемой технической системы. Монография. Изд-во Астраханского государственного технического университета. Астрахань. 2017. 100 с.

REFERENCES

1. Yashchura A.I. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta energeticheskogo oborudovaniya. Spravochnik [The system of maintenance and repair of power equipment. A handbook]. Moscow: SC ENAS Publ., 2017. 504 p.
2. Kats B.A. Kogda nachinat' ispol'zovat' sistemy EAM [When you start to use the EAM system]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti [Automation in industry]*, 2010. No. 8. Pp. 43–45.
3. Davidenko I.V., Golubev V.P., Komarov V.I., Osotov V.N. Struktura ekspertno-diagnosticheskoi i informatsionnoi sistemy otsenki sostoyaniya vysokovol'nogo oborudovaniya [Structure of expert-diagnostic and information system for assessment of high-voltage equipment]. *Elektricheskie stantsii: ezhe mesyachnyi proizvodstvenno-tekhnicheskii zhurnal [Power stations: a monthly production and technical journal]*, 1997. No. 6. Pp. 25–27.
4. Popov G.V., Ignat'ev E.B. Opredelenie indeksa tekhnicheskogo sostoyaniya silovykh transformatorov v protsesse ikh ekspluatatsii [Determination of the index of technical condition of power transformers during their operation]. *Vestnik IGEU [Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University]*, 2014. No. 4. Pp. 1–8.
5. Park J.K., Kwon B.K., Park J.H., Kang D.J. Machine learning-based imaging system for surface defect inspection. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technologies*, 2016. Vol. 3. No. 3. Pp. 303–310.
6. Wang J., Ma Y., Zhang L., Gao R.X., Wu D. Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications. *Journal of Manufacturing Systems*, 2018. Vol. 48. Pp. 144–156.
7. Bashirov M.G., Yumaguzin Yu.F. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya predpriyatii neftegazovoi otrasli na osnove primeneniya tekhnotsenologicheskogo metoda [Assessment of the technical condition of equipment of enterprises in the oil and gas industry based on the application of the technocenological method]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» [Electronic scientific journal "Oil and Gas Business"]*, 2012. No.5. Pp. 293–302.
8. Popov G.V., Ignat'ev E.B., Vinogradova L.V., Vinogradova Yu.Yu., Voroshina D.A. Ekspertnaya sistema otsenki sostoyaniya elektrooborudovaniya «Diagnostika+» [Expert system for assessing the status of electrical equipment "Diagnostics +"]. *Elektricheskie stantsii [Electrical stations]*, 2011. No. 5. Pp. 36–45.
9. Shcherbatov I.A. Avtonomnost' funktsionirovaniya i stepen' intellektual'nosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Autonomy of functioning and degree of intelligence of complex technical systems]. *Informatika i sistemy upravleniya [Informatics and control systems]*, 2016. No. 3 (49). Pp. 105–118.
10. Intellektual'nye sistemy upravleniya organizatsionno-tekhnicheskimi sistemami [Intelligent control systems for organizational and technical systems]. In Bol'shakov A. A. (ed.). Moscow: Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2016. 160 p.
11. Lokhin V.M., Zakharov V.N. Intellektual'nye sistemy upravleniya: ponyatiya, opredeleniya, printsipy postroeniya [Intelligent control systems: concepts, definitions, construction principles]. *Intellektual'nye sistemy avtomaticheskogo upravleniya [Intelligent automatic control systems]*. In Makarov I.M., Lokhin V.M. (eds.). Moscow: Fizmatlit Publ., 2001. Pp. 25–38.
12. Armor A.F. Expert systems for power plants: the floodgates are opening. *Power Engineering*, 1989. Vol. 93. Issue 7. Pp. 29–33.



13. Davis R., King J. An overview of production systems. Machine Intelligence, 1977. Vol. 8. Ellis Horwood Limited, Chichester. Pp. 300–332.

14. Protalinsky O.M., Shcherbatov I.A., Stepanov P.V. Identification of the actual state and entity availability forecasting in power engineering using neural-network technologies. *Proceedings in Journal of Physics: Conference Series Ser. "International Conference "Problems of Thermal Physics and Power Engineering", PTPPE 2017"* 2017. P. 012289.

15. Shcherbatov I.A. Global'naya tsel' slozhnoi slaboformalizuemoi tekhnicheskoi sistemy. Monografiya [The global goal of a complex, poorly formalized technical system. A monograph]. Astrakhan' state technical un-ty Publ. Astrakhan', 2017. 100 p.

Информация об авторах

Authors

Щербатов Иван Анатольевич – к. т. н., доцент, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления тепловыми процессами», Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, e-mail: ShcherbatovIA@mpei.ru.

Ivan Anatol'evich Shcherbatov – Ph. D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Assoc. Prof. at the Subdepartment of Automated Control Systems of Thermal Processes, Moscow Power Engineering Institute, Moscow, e-mail: ShcherbatovIA@mpei.ru.

Для цитирования

For citation

Щербатов И. А. Интеллектуализация информационных систем управления ремонтами предприятий энергетики / И. А. Щербатов // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 31–37. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).31–37

Shcherbatov I. A. Intelktualizatsiya informatsionnykh sistem upravleniya remontami predpriyatii energetiki [Intellectualization of information for power plants repair management systems]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 31–37. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).31–37

УДК 620.171: 621.039.548.58

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).37–45

А. П. Черепанов, П. К. Ляпустин

Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

Дата поступления: 15 июля 2019 г.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СНИЖЕНИЯ РЕСУРСА УНИКАЛЬНЫХ МАШИН

Аннотация. В статье теоретически обосновываются закономерности снижения ресурса машин в процессе их эксплуатации. Математическое описание этих закономерностей построено на основе графической интерпретации прогноза и коррекции, которая позволяет представить взаимосвязь между исходными техническими показателями (в начальный момент, при изготовлении), фактическими (в настоящий момент времени) и прогнозируемыми (на последующий период эксплуатации), характеризующими повреждение и износ узлов и деталей машин в течение определенного временного интервала. Однако, с помощью функции «предиктор-корректор» точное определение ресурса оказалось возможным только при равномерном шаге сетки, но, как известно из практики, прогнозирование ресурса машин проводится преимущественно с неравномерным шагом сетки, поскольку техническое диагностирование в процессе эксплуатации затруднительно осуществлять регулярно через равные промежутки времени. Установлено также, что графическая интерпретация показывает только закономерность перехода исходного состояния к предельному, но на практике для исследователя-прикладника необходимо построение кривой, отражающей истинное снижение ресурса машины при сокращении запасов прочности узлов и деталей. Исследования и практика показывают, что одной из мер по снижению рисков эксплуатации машин является создание модели прогнозирования ресурса, которая учитывает наибольшее количество факторов, влияющих на него, а также максимальное число данных технической диагностики, результатов оценки технического состояния и остаточной прочности элементов. Для решения этой задачи представлена экспоненциальная зависимость, показывающая снижение ресурса от степени износа, дефектов, эффективности технического диагностирования и степени опасности при достижении предельного состояния на различных этапах жизненного цикла машины. Математическое описание этой закономерности может быть использовано для прогнозирования начального, текущего и остаточного ресурса единичных, уникальных машин и технических устройств.

Ключевые слова: безопасность, вероятность, диагностирование, уникальная машина, модель, ресурс, риск эксплуатации, техническое состояние.

A. P. Cherepanov, P. K. Lyapustin

Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

Received: July 15, 2019

THE PATTERN OF DECREASE OF A RESOURCE OF UNIQUE MACHINES