УДК 331.2

Курочкин, Валентин Николаевич, профессор
Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»,
05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
Ростовская область, г. Зерноград
Valentin952@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ОБРАЗОВ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Аннотация: На основы теории паттернов разработана модель для автоматизированной системы технического обслуживания технологического оборудования, которая представляет собой множество конфигураций, построенных из элементов. Исследована модель системы операций технического обслуживания перерабатывающего оборудования. Разработан пространственно-временной образ «образующей» процедуры элемента системы. Графически интерпретирован уровень технической готовности зерноперерабатывающего оборудования в зависимости от времени эксплуатации при различных типах обслуживания. Показана универсальность данного типа моделирования. Разработанная математическая модель системы технического обслуживания машин и оборудования предназначена для автоматизации технического обслуживания.

Ключевые слова: технологическое оборудование, техническое обслуживание, математическая модель, теория, распознание, образы.

Kurochkin, Valentin Nikolaevich, professor

Zernograd, Azov-Black Sea Engineering Institute - a branch of the FederalState budgetary educational institution of higher education "Don State Agrarian University"

APPLICATION OF THEORY OF IMAGES TO THE MATHEMATICAL MODELING MAINTENANCE SERVICE

Abstract: On the basis of the theory of patterns, a model has been developed for an automated system for maintaining technological equipment,

which is a set of configurations built from elements. The model of the system of operations for the maintenance of processing equipment has been investigated. The space-time image of the “generator” procedure of the system element has been developed. The level of technical readiness of the grain processing equipment is graphically interpreted depending on the operation time for various types of services. The universality of this type of simulation is shown. The developed mathematical model of the maintenance system of machines and equipment is designed to automate maintenance.

Keywords: technological equipment, technical service, mathematical model, theory, recognition, images.

Введение. Для службы главного инженера или главного механика предприятия в соответствии с государственным стандартом ключевой задачей является создание системы управления надёжностью используемого технологического оборудования и другого машинного парка. На производственном предприятии этим обеспечивается сокращение непроизводительных потерь от простоев технических средств, а при переработке продукции из растительного сырья – непрерывность технологических процессов производства. Таким образом, задача совершенствования технической эксплуатации машин и оборудования достигается поддержанием его технической готовности на достаточном уровне посредством повышения эксплуатационной надёжности. Анализ публикаций показал, что к настоящему времени разработано достаточное количество решений и мер по обеспечению надежности машинного парка, однако в сфере оборудования для переработки сельскохозяйственного сырья таких исследований недостаточно. Необходимо провести исследования, позволяющие на современном уровне не только выполнять техническое обслуживание, но и обеспечить технологичность ТО на базе инновационного подхода, на основе информационных технологиях [1]. В основе таких технологий могут быть использованы математические модели теории образов.

Научная гипотеза. Разработка технологии автоматизированного технического обслуживания на основе применения математической теории образов позволит службе главного инженера применить инновационные технологии технического обслуживания и тем самым повысить эффективность эксплуатации используемого оборудования.

Цель работы: повышение эффективности технической эксплуатации перерабатывающего оборудования на основе моделирования технического обслуживания с использованием теории распознания образов.

Объект исследования – функционирование системы управления надёжностью перерабатывающего предприятия.

Предмет исследования. Закономерности реализации процесса технического обслуживания перерабатывающего оборудования.

Система технической эксплуатации машинно-тракторного парка разрабатывалась исследовали в Государственном научно-исследовательском технологическом институте ГОСНИТИ, Всесоюзном НИИ использования техники и нефтепродуктов, Всероссийском НИИ по механизации и электрификации ВНИПТИМЭСХ и других научно-исследовательских институтов. Эксплуатацию МТП исследовали академики В.М. Кряжков, В.И. Черноиванов, А.И. Селиванов, М.С. Рунчев, А.Э. Северный. Человеко-машинные системы изучил академик РАН Э.И. Липкович. Н.С. Хмелевой, А.В. Ленский, Н.И. Агафонов, Н.И. Чупринин, Н.В. Валуев, А.П. Соломкин и др. получили положительный опыт применения к технической эксплуатации теории массового обслуживания. Однако к настоящему времени в результате реформ научно-исследовательские институты прекратили своё существование. Исследования были продолжены в Донском техническом университете, профессора которого В.П. Димитров и Ю.А. Царев реализовали на практике экспертные системы. В последнее десятилетие на собственном энтузиазме, без финансовой поддержки выполнили исследования в сфере ТО оборудования для переработки семян масличных культур и зерна колосовых культур молодые ученые Азово-Черноморского инженерного института Е.Н. Кущева, Н.С. Полуян, С.А. Назаренко [2, с. 47-49; 3, с. 85-91, 4, с. 18-23]. Но в целом реальность такова, что в настоящее время техническое обслуживание (ТО) перерабатывающего оборудования не поставлено на научную основу, и даже нет предпосылок решение вопроса его автоматизации из-за отсутствия математических моделей ТО. В то же время появились изложенные в стандарте [5] новые требования к поддержанию эксплуатационной надёжности машин и оборудования.

Особенность исследуемой отрасли знаний в том, что система эксплуатации машин и оборудования состоит из множества вероятностных элементов; цель работы имеет стохастический характер. В данной статье показано применение ранее не использованного в предметной области исследования – метода построения формального образа функциональной системы для анализа процесса его технического обслуживания, позволяющего построить соответствующую математическую модель.

В основу наших исследований положена теория образов У. Гренандера, в соответствии с которой образ системы представляет собой множество конфигураций, построенных из элементов. Ранее было установлено

следующее: «В соответствии с определением системы как эмерджентной совокупности подсистем и элементов, объединённых системообразующим фактором и обладающим системными свойствами устойчивости, адаптации, надёжности функционирования и др., элемент является объектом нижнего уровня иерархии, внутренняя структура которого не рассматривается, то есть он – для данного уровня является неделимым. Обозначим его как s_i. Каждому элементу ставится в соответствие некоторая метка, идентифицирующая его как объект рассматриваемой технической системы». Для идентификации системы ТО использовали теорию распознания образов, которая является «… разделом информатики и смежных дисциплин, развивающий основы и методы классификации и идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций и т. п. объектов, которые характеризуются конечным набором некоторых свойств и признаков. Необходимость в таком распознавании возникает в самых разных областях — от военного дела и систем безопасности до оцифровки аналоговых сигналов». Общепринято считать, что «Проблема распознавания образа приобрела выдающееся значение в условиях информационных перегрузок, … поэтому проблема распознавания образа оказалась в поле зрения в связи с работой по созданию искусственного интеллекта…».

Следовательно, каждому элементу $s_{i=}\ S$ - $mi= M$. Метка может обозначать узлы и детали машины. Например, наиболее для переработки зерна ключевая машина – мельница – имеет множество элементов (станина, привод, жернова, дека, кожух, ремень, цепь, звёздочка, шестеренка и др.), их признак – является функцией назначения, выражающаяся в преобразовании взаимозависимых параметров рассматриваемой подсистемы (например, в изменении частоты вращения, в изменении количества поступающего в размол зерновой массы и т.д.). Элементы s_iсо своими связями ξ_j функционально и конструктивно объединены с учетом ограничений в конфигурации C. Последние различаются своим составом Λ и структурой Ψ

$$\Lambda=(s1,s2,s3,\dots,si,\dots sn), \tag{1}$$

$$\Psi=(\psi 1,\psi 2,\dots,\psi i,\dots,\psi m). \tag{2}$$

По теории распознания образов У. Гренандера вышеуказанные соотношения составляют образ объекта исследований и задается множеством её элементов Λ и конфигурациями, построенными из них по определенным инженерным методам U конструирования машин (в данном примере - зерноуборочных комбайнов).

Множество инженерных методов конструирования обозначили как *G(U).* Данное множество определяет изображение рассматриваемой функциональной системы. Её образ будет представлен в виде множества структур (в терминах рассматриваемой теории - «регулярных конфигураций»)

$$\Psi_1, \Psi_2\ \Psi_3,\ldots \Psi_i,\ \ldots, \Psi_n = G(U), \tag{3}$$

где*n* – количество конфигураций.

С применением данных обозначений возможно построение формальной модели (3) функциональных систем машин и другого технологического оборудования.

Например, возможно построение образов систем двигателя внутреннего сгорания: питания, охлаждения, смазки, а также его гидравлической системы и систем, электрической системы (при наличии на данной машине) и др. Для этого можно воспользоваться соответствующей конструктивной схемой данной машины. В каждом конкретном случае конструктивные схемы могут быть использованы, они имеются в технической литературе и представляют инженерный, а не научный интерес, поэтому не приводятся. На основе схемы строится её математическая модель в виде графа *G(X, Y)* и находится необходимый путь на графе.

Рекомендуется использовать функции достижимости, матрица которой $R = [\psi_{i,j}, \lambda_{i,j}]$ выражается формулой

$$r\,i,\,j = \frac{1, \text{если вершина } x\,i \text{ достижима из } x\,j}{0, \text{если не достижима}} \tag{4}$$

матрица функции недостижимости, $Q = [q_{i,j}]$ выражается формулой

$$q\,i,\,j = \frac{1, \text{если из вершины } x\,i \text{ можно достигнуть вершину } x\,j}{0, \text{в противоположной ситуации}}. \tag{5}$$

Приведенные формулы (4, 5) позволяют получить множество вершин $R(x_i) \cap Q(x_j)$, каждая из которых принадлежит по крайней мере одному пути, идущему из вершины x_iк вершине x_j. Построение матриц «достижимости» и «недостижимости» позволяет построить математическую модель сильно связанных структур системы, техническое обслуживание которой выполняется. На основе математической модели строится концептуальная модель образа (таблица). Например, применительно к зерноуборочному

комбайну аналогично выполняется построение графов и таблиц всех систем двигателя внутреннего сгорания машины, её органов управления и рабочих органов (молотильный аппарат, системы отделения зерна от соломы, половы и других примесей, система подачи зерна в бункер система выгрузки зерна из бункера и др.), системы жизнеобеспечения механизатора (стабилизация температурного режима, вентиляция и очистка воздуха и др.).

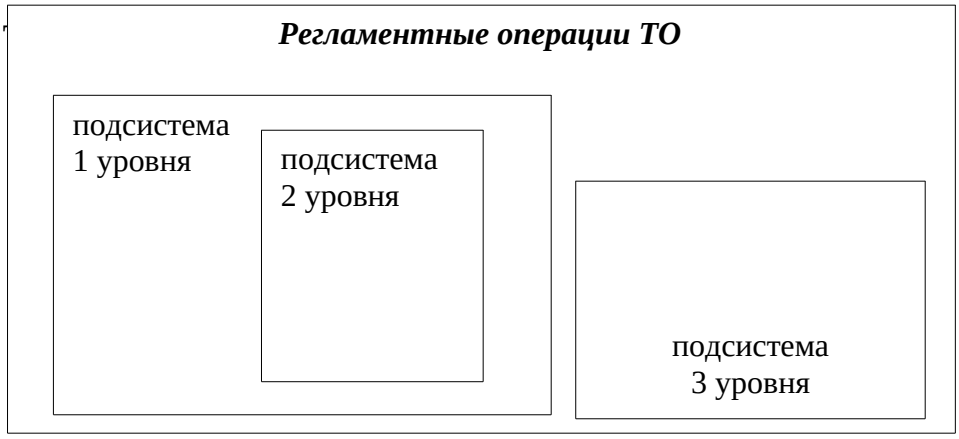
Таблица – концептуальная математическая модель образа (на примере потока отказов второй группы сложности мельницы А1-АВМ1)

«Сильная» компонента	Вершина графа x_i	Образующая q_i	Идентификатор образующей
1	*2*	*3*	4
X1	x_1	q_1	Ситовый корпус
	x_2	q_2	Механизм очистки сит
	x_3	q_3	Передаточный механизм
	x_4	q_4	Сетчатый цилиндр
	x_5	q_5	Шнек и его привод
	x_6	q_6	Рассев 4-Х
	x_7	q_7	Приемный ЗРЩ4-4М

В процессе технического сервиса необходимо сравнить соответствие образа обслуживаемой системы с фактическим её состоянием, что обеспечивается реализацией алгоритма идентификации на компьютере. Алгоритм строится на основе концептуальной модели «соответствует - не соответствует» (см. табл. 1). Таким образом, разрабатывается методика представления операций технического обслуживания как пространственно-временных образов движения, характеризующихся сменой состояний элементов рассматриваемой функциональной системы в соответствии с его технологическими операциями, заданными технологической картой. Обозначим через подсистему первого уровня ТО и устраняемые при нем отказы первой группы сложности, второго уровня ТО и устраняемые при нем отказы второй группы сложности, третьего уровня – ТО и устраняемые при нем отказы третьей группы сложности и интерпретируем модель состава системы регламентных операций графически (рис. 1).

При создании пространственно-временного образа технологический процесс технического обслуживания (ТО-1, ТО-2, ТО-3, сезонного ТО и ТО при хранении) сгруппировали в 4 класса «образующих действий», а именно:

1. Операция процедуры ТО h_iпродолжительностью T_i
2. Контроль состояния k_i продолжительности T_k
3. Перемещение n_iпродолжительностьюT_i
4. Задержка z_iпродолжительностьюT_z



- «элементарное» действие

Рисунок 1 – Модель структуры системы операций технического обслуживания перерабатывающего оборудования

Таким образом, операция технического обслуживания представляется как динамическая система с причинно-следственными связями между выполнением ремонтно-обслуживающих работ и его техническим состоянием, а также коэффициентов технической готовности и другими показателями надежности. Соответствие образа состоянию оценивается по схеме (рис. 2).

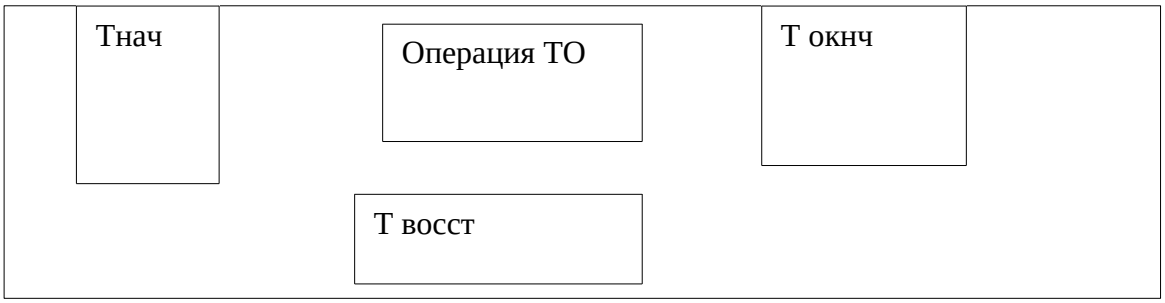


Рисунок 2 – Пространственно-временной образ «образующей» процедуры элемента системы

Ввели следующие обозначения (см. рис. 2).

Операцию ТО обозначим как *Ai (gi)* – операция обслуживания «образующей»*gi*

$T_{нач}$ – начало восстановления элемента – обозначим как t_{sigi}

$T_{восст}$ – время начала восстановления работоспособности элемента – как t^1_{sigi}

$T_{оконч}$ – время окончания операции – как t_{xigj}.

Разработанная формализованная модель позволяет спроектировать технологический процесс выполнения операций технического обслуживания в виде диаграммы, в которой признаки A_i операции соответствуют её продолжительности T_i таким образом, что показатели связи удовлетворяют условию

$$ti = tsi + \Delta ti, \quad (6)$$

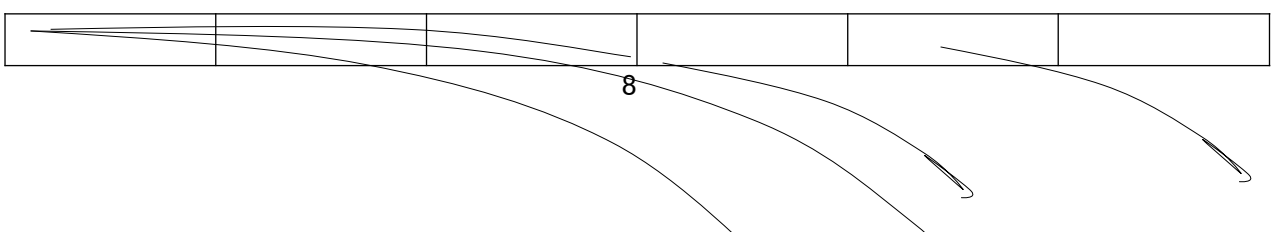
где t_i - окончание Ai операции,

t_{si} - начало Ai операции.

Математическая модель предусматривает следующие ситуации: соответствие агрегата (узла) техническим требованиям или несоответствие его состояния агрегата этим требованиям, обнаружение отказа и его восстановление. Восстановление обнаруженного отказа – это неплановые работы. Все эти данные фиксируются компьютерной программой, которая может быть разработана по данной математической модели, и оценивается эффективность технического обслуживания, основываясь на результатах контроля и диагностики рассматриваемой системы сельскохозяйственной машины или оборудования, что позволяет управлять операциями ТО. Суммарный эффект реализованных операций ТО оценивается отношением запланированного времени выполнения ТО к его фактическому времени выполнения. Практическая значимость излагаемой математической модели в том, что на её основе может быть создан алгоритм и компьютерная программа, позволяющая принимать решения о корректировке технологического процесса ТО на основе расчета функций (4, 5) и накапливаемых фактических данных об исследуемом процессе на конкретном сельскохозяйственном предприятии.

Как результат, инженерная служба сможет перейти от реактивного ТО на проактивное, что позволит улучшить уровень технической готовности обслуживаемого парка машин и оборудования и продлить срок эксплуатации, что иллюстрируется графиком (рис. 3).

Заключение. Разработана модель распознания образа для автоматизированной системы технического обслуживания зерноперерабатывающего оборудования, которая представляет собой множество конфигураций, построенных из элементов рассматриваемой системы.



		3	3		3
		1	2		

1 – реактивное обслуживание, 2 – обслуживание по состоянию, 3-проактивное ТО

Рисунок 3 – Уровень технической готовности зерноперерабатывающего оборудования зависимости от времени эксплуатации при различных типах обслуживания

Модель структуры системы операций технического обслуживания перерабатывающего оборудования определяет пространственно-временной образ «образующей» процедуры элемента системы.

Исследован и графически интерпретирован уровень технической готовности зерноперерабатывающего оборудования зависимости от времени эксплуатации при различных типах обслуживания. Показана универсальность модели. Разработанная математическая модель идентификации системы технического обслуживания функциональных систем машин и оборудования может быть использована для снижения стоимости нормо-часа технического обслуживания и ремонта и обоснования экономически целесообразного уровня коэффициента технической готовности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система технического сервиса: организация, математическое моделирование: монография / В.Н. Курочкин, Е.Н. Кущева, С.Л. Никитченко; под науч. ред. проф. В.Н. Курочкина. – Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2017. – 173 с.

2. Кущева Е.Н. Математическая модель надежности подсистемы технического сервиса зерноперерабатывающего предприятия / Курочкин В.Н., Кущева Е.Н. –Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2012. – №12. – С. 47-49.

3. Влияние технического обслуживания и ремонтов на ресурс оборудования для переработки масличных культур / Курочкин В. Н., Щербак Н. А., Назаренко С. А. – Успехи современной науки и образования. – 2015. – № 3. – С. 85-91.

4. Математическое моделирование системы обеспечения надежности зерноперерабатывающей техники // Курочкин В.Н., Кущева Е.Н., Полуян Н.С. – Вестник АПК Ставрополья. – 2016. – № 2 (22). – С. 18-23.

5. Надежность в технике. Система управления надёжность. ГОСТ Р 27.001-2009. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 10 с. – Электронный ресурс. – Режим доступа: libgost.ru/gost/1441–GOST_27_ 001_09.html.

Авторская справка

Курочкин Валентин Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры экономики и управления Азово-Черноморского инженерного института-филиала Донского государственного аграрного университета

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет», 347740 Зерноград Ростовской области, ул. имени Ленина, д.21.

Домашний адрес автора: 347740 Зерноград Ростовской области, ул. имени Ленина, д.35А.

тел. +7 952 60 800 77 и +7 918 5909 300

valentin952@mail.ru