

7. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2003. – 1104 с.
8. Ловас Л., Пламмер М. Прикладные задачи теории графов. Теория паросочетаний в математике, физике, химии Пер. с англ. М.: Мир, 1998. – 652 с.
9. Исаков В.Н. Статистическая теория радиотехнических систем (курс лекций) [электронный ресурс]. URL: strts-online.narod.ru (дата обращения 26.02.2011).

APPLICATION OF THE HUNGARIAN ALGORITHM AT THE DECISION OF PROBLEMS OF DISTRIBUTION OF TELECOMMUNICATION OPERATIONAL LIVES FOR LOCAL AREA NETWORKS ON MOBILE PLATFORMS

Averyanov E.C, Kaseeva N.A., Nazarov S.N.

In work principles of performance of a local area network of the subscribers placed on a mobile platform, carrying out relocating with a HS on a train example (mobile hotspot (MHS)) are analyzed. The present work is devoted developments of algorithms of boosting of efficiency of performance MHS on the basis of the decision of an optimizing problem of determination of the maximum transmission capacity of system. The problem decision is offered to be broken on two subtasks: determinations of set of conformity of repeaters of a base network and antennas on a mobile platform and distributions of power of a signal transmission on links from set of conformity. The decision of the first subtask is offered to carry out on the basis of the Hungarian method, the second – a simplex-method.

Keywords: a local area network on a mobile platform, a repeater, the zone dispatcher, set of conformity, a power vector, transmission capacity of system, the Hungarian method, a simplex-method.

Аверьянов Евгений Сергеевич – аспирант Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации (УВАУ ГА). Тел. 8-917-629-00-23.

Касеева Наталья Андреевна курсант УВАУ ГА. E-mail: nat53880735@yandex.ru

Назаров Сергей Николаевич, к.т.н., доцент Кафедры «Информатика» УВАУ ГА. Тел. (8-842) 243-54-00, 239-80-59, 8-903-338-34-72. E-mail: art3456@rambler.ru

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОЛП

Шафигуллин Л.Н.

В работе проанализированы методы моделирования производственного процесса технического обслуживания линейно-кабельных сооружений (ЛКС) ВОЛП. Обоснован выбор метода функциональных сетей. Показана на примере расчета реализация данного метода для оценки эффективности технического обслуживания ЛКС ВОЛП.

Ключевые слова: линейно-кабельные сооружения, волоконно-оптическая линия связи, техническое обслуживание, моделирование производственного процесса, сложные системы, эффективность.

Введение

Для количественной оценки эффективности производственного процесса технического обслуживания ЛКС ВОЛП необходимы методы

формального описания и анализа, обладающие следующими свойствами:

- иметь аналитические средства для оценки показателей технологической эффективности обслуживания ЛКС ВОЛП;
- в удобной и простой форме описывать и оптимизировать процессы технического обслуживания ЛКС ВОЛП;
- выбранная система показателей технологической эффективности должна оцениваться с помощью единого метода;
- методика расчета показателей технологической эффективности должна соответствовать основным требованиям, сформулированным в отраслевых стандартах и нормативных документах.

Анализ указанных документов показывает, что рекомендованные в них методы оценки тех-

нологической эффективности обслуживания ЛКС ВОЛП не позволяют решить следующие задачи:

- проводить сравнительную количественную оценку различных технологий обслуживания ЛКС ВОЛП, как производственных процессов, по критериям затрат времени и человеческих ресурсов, стоимости выполненных работ с учетом возможных ошибок персонала;
- проводить ранжирование ЛКС ВОЛП по их значимости в структуре телекоммуникационных сетей;
- учитывать особенности наиболее перспективного прогнозирующего метода технического обслуживания ЛКС ВОЛП.

Для решения поставленных задач необходимо установить жесткую формализованную связь между временем выполнения технологической операции, необходимым составом персонала для выполнения технологической операции, вероятностью безошибочного выполнения операции и стоимостью выполнения технологической операции.

Процессы технического обслуживания ЛКС ВОЛП могут быть формализованы как производственные процессы, для реализации которых используются соответствующие технические средства, а процесс функционирования – в виде технологического алгоритма соответствующего метода обслуживания.

Исследованию методов моделирования производственного процесса технического обслуживания ЛКС ВОЛП и посвящена данная работа.

Анализ методов моделирования производственного процесса технического обслуживания сложных систем

В настоящее время нет математического аппарата, позволяющего корректно описать производственную деятельность человека с ее мотивами и целями. Частичную формализацию отдельных производственных действий человека можно проводить, используя математические модели двух типов: алгоритмические и лингвистические [1].

Наибольшее распространение получили алгоритмические модели, позволяющие выделить алгоритмы, с помощью которых прослеживают последовательность выполнения группы операций и их последствия (блок-схемы алгоритмов, сетевые графики и др.), и алгоритмы, описывающие возможные причины рассматриваемой ситуации (схемы причинно-следственных связей). Процессы технического обслуживания могут быть формализованы как производственные процессы,

для реализации которых используются технические средства, а процесс функционирования – в виде технического алгоритма функционирования сложной системы.

Языковые лингвистические формальные системы позволяют хорошо описывать производственные процессы, но не имеют аналитических средств количественной оценки этих процессов. Таким образом, лингвистические модели, удовлетворяя всем требованиям, связанным с возможностями описания и автоматизации моделирования процесса технического обслуживания, для проведения количественной оценки требуют привлечения дополнительных средств моделирования, что затрудняет их применение.

Языково-алгебраические модели обладают хорошим сочетанием свойств описания и оценивания процессов технического обслуживания. Наибольшее распространение получили методы сетевого планирования и управления (СПУ): графики по методу критического пути (МКП), сети PERT и GERT [2]. Однако несмотря на большие возможности, данные методы имеют ряд недостатков: значительную трудоемкость и сложность реализации аналитических методов количественной оценки и представления информации в логико-лингвистической форме.

В настоящее время наибольшими возможностями описания и оценки производственного процесса по сравнению с вышеописанными методами и моделями обладают функциональные сети (ФС). Они являются продолжением и развитием обобщенного структурного метода (ОСМ) [3]. Данный метод заключается в декомпозиции производственного процесса на отдельные операции и представлении повторяющихся операций в виде элементарных математических моделей – типовых функциональных единиц (ТФЕ), представляющих собой типовые функциональные структуры (ТФС) небольшой размерности [4]. При этом ТФЕ придается ряд количественных характеристик. Таким образом, математическую модель процесса технического обслуживания можно построить из минимально необходимого количества готовых ТФЕ, добавив к ним модели тех операций, по которым ТФЕ отсутствуют, так как они являются специфическими для рассматриваемого процесса. На основе разработанных математических моделей определяются показатели эффективности, качества и надежности процесса технического обслуживания в целом с использованием данных по отдельным функциональным единицам [5]. При этом необходимо решить задачу по минимизации сроков и трудозатрат на выполнение работ по тех-

ническому обслуживанию. Эта задача может быть решена при помощи функции «время-трудозатраты». ОСМ позволяет рассчитать зависимость между продолжительностью работы и трудозатратами и, следовательно, оптимизировать сроки выполнения технологических операций [6].

На основе аппарата ФС осуществляется разбиение алгоритма произвольной структуры на ряд заданных «формализмов». В соответствии с введенными количественными характеристиками ТФС при помощи логико-вероятностного метода [8] строится модель процесса технического обслуживания ЛКС ВОЛП и сравниваются различные алгоритмы обслуживания.

Реализация метода ФС для оценки эффективности ТО ЛКС ВОЛП

Исходной для вычисления показателей по методу ФС является функциональная структура F . На уровне задачи – это структура операций, на уровне системы – это структура задач. Все они приводятся к единому виду за счет универсального (пригодного для описания структур любого уровня) аппарата ФС. Именно это обеспечивает возможность применения единого метода оценки для семантически различных показателей.

Принцип F -структуры состоит в том, что при построении математической модели процесса функционирования системы за основу принимается конкретная структура выполняемых ею функций, соответствующая структуре взаимодействующих элементов этой системы.

Сравнительные характеристики методов моделирования сложных систем данных для функциональных структур F различного уровня проводится по-разному:

- исходные характеристики для отдельных операций определяются на основе исходных справочных данных, в свою очередь, зависящих от большого числа факторов, а также от наличия или отсутствия контроля за возможными ошибками и отказами;
- полученные путем применения ОСМ показатели качества производственного процесса на уровне задачи, в свою очередь, становятся исходными характеристиками для получения показателей эффективности и качества производственного процесса на уровне системы.

Таким образом, выбор в качестве метода моделирования ФС обеспечивает единый метод оценки показателей качества алгоритмов на разных уровнях ее рассмотрения.

Задачу оценки эффективности ТО ЛКС ВОЛП можно сформулировать как построение такого отображения G , что

$$G : \{P_i\}, a_p \longrightarrow (TP^* \in TP_A) \quad (1)$$

при условии

$$F [TP^*(L^*)] \longrightarrow \max, L^* \in L, \quad (2)$$

где $\{P_i\}$ – множество функций ТО ЛКС ВОЛП, решаемых при разработке технологии; a_p – отношение порядка на множестве $P = \{P_i\}$, определяющее логическую схему ТО; TP^* – некоторый технологический процесс, обеспечивающий выполнение условия (2) из множества альтернативных $TP \in TP_A$; F – критерий эффективности TP ; L – множество параметров TP .

Отображение (1) определяет способ порождения TP^* с параметрами L^* , которые обеспечивают максимум некоторого критерия эффективности F , и может быть построено, если определено отношение a_p , представляющее собой закон выделения на множестве P некоторого упорядоченного подмножества

$$Pa_p = \langle P_1, P_2 \dots P_i \rangle, \quad (3)$$

определяющего последовательность и условия решения $i = x$ функций ТО ЛКС ВОЛП P_i .

Эффективность любой технологии ТО ЛКС ВОЛП характеризуется следующими основными показателями: временем, трудозатратами и стоимостью выполнения работ. При выборе обобщенного показателя качества производственного процесса ТО и ремонта ЛКС необходимо учитывать основное требование к процессу ТО – обеспечения эффективности функционирования ЛКС при условии выполнения ТО за плановое время обслуживания ΔT° .

Можно считать, что по окончании этапов строительства, отладки и испытаний и при сдаче ЛКС в эксплуатацию достигнуто требуемое в ТЗ качество $K_{\text{ЛКС}}$. При этом TP характеризуется как процесс постепенного увеличения значения качества до некоторого конечного значения $K_{\text{ЛКС}} = 1$. Параметр $K_{\text{ЛКС}}$ при этом является относительным качеством ЛКС, текущее значение которого изменяется в пределах от 0 до 1 в процессе эксплуатации,

С учетом условия обеспечения заданного времени ТО: ΔT° в качестве критерия эффективности (целевой функции) TP может быть использована, например, средняя скорость изменения относительного качества ЛКС в процессе ТО и ремонта

$$Q^{cp} = \frac{\Delta K_{\text{ЛКС}}}{\Delta T^0} = \frac{1}{\Delta T^0}. \quad (4)$$

Поскольку ТП будет функционально эффективен при любом значении Q Q^{cp} , то условие (2) может быть конкретизировано и записано в виде

$$F[ТП^*(L^*)] \geq \frac{1}{\Delta T^0}. \quad (5)$$

Таким образом, задача оценки эффективности технологии заключается в определении принципов упорядочения множества Pa_p и разработке логической схемы ТО ЛКС ВОЛП, то есть формировании структуры ТП – в виде логически и технологически организованной последовательности работ с учетом связности всех функций ТО P_i . При этом необходимо установить взаимосвязь между критерием качества ТО $K_{\text{ЛКС}}$ и параметрами эффективности ТП по ТО и ремонту.

Согласно классификации сложности проблем, задача построения ТП в описанной выше постановке относится к классу слабоструктурированных проблем, которые включают в себя количественные и качественные аспекты. Методологической основой исследования и решения таких проблем является использование системного подхода, широко применяемого в различных областях техники.

Системный подход при оценке эффективности ТО ЛКС ВОЛП основывается на представлении ее основной части – ТП в виде сложной системы, обладающей рядом системоопределяющих свойств [7]:

- иерархии по формированию состояний ЛКС – технологических процедур и операций, позволяющих регламентировать процесс обслуживания;

- связность, характеризуемая наличием большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих компонентов на различных иерархических уровнях представления ТП (работы, этапы, операции);

- производительность труда технического персонала, интерактивность процедур, уровень унификации технологических операций и процедур на различных этапах хотя и зависят от характеристик отдельных составных частей ТП, но полностью проявляются только как свойство всего ТП в целом;

- организованность, заключающаяся в формировании связей составных частей ТП, упорядоченности распределения связей и трансформации при этом свойств отдельных составляющих в функции ТП.

Таким образом, вышеназванные свойства в совокупности определяют основную особенность применения системного подхода к оценке эффективности технологии ТО ЛКС ВОЛП. Она заключается в том, что объектом системного анализа является логически связанная пара: ЛКС ВОЛП как целевая категория и ТП ТО ЛКС ВОЛП как категория средств достижения цели. Для получения качественных технологий ТО ЛКС ВОЛП эта пара должна находиться в состоянии динамического равновесия. Для проведения системного анализа ТП составляют конфигурационную матрицу технологии, отражающую уровни ее системного представления. Строки матрицы соответствуют категориям системного представления технологии ТО ЛКС ВОЛП, а столбцы – уровням ее декомпозиции [9].

Все элементы конфигурационной матрицы формируются с позиций обеспечения взаимосоответствия составляющих логической пары «ЛКС – технология их обслуживания» в течение всего процесса ТО. В качестве основных системных категорий представления технологии используются производственный процесс, реализующий технологию, и показатели качества процесса ТО, оценка которых является основной функциональной задачей технологии.

В основу декомпозиции категорий положена иерархия логических связей «состояние ЛКС – вид технологической работы по их обслуживанию в ходе ТП», так как такая декомпозиция отражает алгоритм процесса ТО ЛКС ВОЛП по принятой технологии и позволяет описать технологию как регламентированную совокупность работ. С учетом сложившегося состава и порядка работ, выполняемых при ТО и ремонте ЛКС ВОЛП, приняты четыре уровня декомпозиции со следующей иерархией:

- системный, представляющий ТП как совокупность процессов ТО ЛКС ВОЛП;

- процедурный, основанный на выделении технологических процедур как видов работ по формированию составляющих нового состояния ЛКС ВОЛП;

- функционально-технологический, выделяющий этап ТП как совокупность действий по переводу ЛКС ВОЛП из одного функционально-технологического состояния в другое;

- базисный (операционный), определяющий операции как элементарные действия в процессе выполнения этапов ТП.

Анализ элементов конфигурационной матрицы и выделение для каждого элемента характеризующих его свойств позволяют сформулировать

на основе системного подхода ряд принципов построения технологии, обеспечивающих в совокупности создание эффективного процесса ТО и ремонта ЛКС ВОЛП.

Моделирование технологий ТО на основе функциональных сетей (ФС) для оценки показателей качества ТО ЛКС ВОЛП будем производить по методике, предполагающей следующие этапы:

1. Сформулировать критерии оценки показателей качества ТО ЛКС ВОЛП.

2. Назначить для каждой операции конкретный состав показателей качества ТО ЛКС ВОЛП, который предполагается получить в результате оценки.

3. Произвести декомпозицию технологии ТО ЛКС ВОЛП.

4. Составить таблицу с перечнем операций, входящих в рассматриваемую технологию ТО ЛКС ВОЛП, и поставить каждой операции ее модель в соответствии с ОСМ.

5. Составить модель технологии ТО ЛКС ВОЛП в виде функциональной сети.

6. Рассчитать показатели качества технологии ТО ЛКС ВОЛП.

Рассмотрим реализацию метода ФС на примере технологии охранно-разъяснительной работы (ОРР) при техническом обслуживании ЛКС ВОЛП.

Расчет показателей качества технологии ОРР ТО ЛКС ВОЛП на основе метода ФС

Для технологии ОРР ТО ЛКС ВОЛП результирующее значение вероятности безошибочного выполнения работы определяется по следующей формуле [5]:

$$V_{\text{общ}} = V_{11} V_{12} V_{13}. \quad (6)$$

Математическое ожидание определяется по формуле

$$M(X)_{\text{общ}} = M(X)_{11} + M(X)_{12} + M(X)_{13}. \quad (7)$$

Дисперсия определяется как

$$D(X)_{\text{общ}} = D(X)_{11} + D(X)_{12} + D(X)_{13}. \quad (8)$$

Для технологии ОРР ТО ЛКС ВОЛП вероятность безошибочного выполнения отдельных операций определяется по формулам:

$$\begin{aligned} V_{11} &= V_{11(1)} V_{11(2)}; \\ V_{12} &= V_{12(1)} V_{12(2)}; \\ V_{13} &= V_{13(1)} V_{13(2)}, \end{aligned}$$

для технологии ОРР ТО ЛКС ВОЛП математическое ожидание безошибочного выполнения отдельных операций определяется по формулам:

$$\begin{aligned} M(X)_{11} &= M(X)_{11(1)} + M(X)_{11(2)}; \\ M(X)_{12} &= M(X)_{12(1)} + M(X)_{12(2)}; \\ M(X)_{13} &= M(X)_{13(1)} + M(X)_{13(2)}; \\ D(X)_{11} &= D(X)_{11(1)} + D(X)_{11(2)}; \\ D(X)_{12} &= D(X)_{12(1)} + D(X)_{12(2)}; \\ D(X)_{13} &= D(X)_{13(1)} + D(X)_{13(2)}. \end{aligned}$$

Рассчитаем численные значения параметров оценки эффективности ОРР на ЛКС ВОЛП на основе статистических данных:

$$\begin{aligned} V_{11} &= 0,99 \cdot 0,95 = 0,9405; \\ V_{12} &= 0,98 \cdot 0,92 = 0,9016; \\ V_{13} &= 0,99 \cdot 0,98 = 0,9702. \end{aligned}$$

Результирующее значение вероятности безошибочного выполнения ОРР на ЛКС ВОЛП:

$$V_{\text{общ}} = 0,9405 \cdot 0,9016 \cdot 0,9702 = 0,8227.$$

Математическое ожидание этапов выполнения ОРР на ЛКС ВОЛП:

$$\begin{aligned} M(X)_{11} &= 0,23 + 0,11 = 0,34; \\ M(X)_{12} &= 0,10 + 0,12 = 0,22; \\ M(X)_{13} &= 0,17 + 0,25 = 0,42. \end{aligned}$$

Результирующее значение математического ожидания выполнения ОРР на ЛКС ВОЛП:

$$M(X)_{\text{общ}} = 0,34 + 0,22 + 0,42 = 0,98.$$

Дисперсия этапов выполнения ОРР на ЛКС ВОЛП:

$$\begin{aligned} D(X)_{11} &= 0,001 + 0,003 = 0,004; \\ D(X)_{12} &= 0,002 + 0,005 = 0,007; \\ D(X)_{13} &= 0,001 + 0,004 = 0,005. \end{aligned}$$

Результирующее значение дисперсии выполнения ОРР на ЛКС ВОЛП:

$$D(X)_{\text{общ}} = 0,004 + 0,007 + 0,005 = 0,016.$$

Таким образом получен набор показателей качества технологии ОРР ТО ЛКС ВОЛП.

Наиболее сложной задачей, возникающей при использовании ФС для оценки качества ТО ЛКС ВОЛП, является оценка исходных вероятностных показателей, используемых в расчетных формулах. Как и при оценке надежности телекоммуникационных систем, исходные числовые характеристики могут быть получены лишь статистическим путем, однако при использовании аппарата ФС можно сформулировать и решить задачу оптимизации, основанную на сравнении альтернативных технологий ТО ЛКС ВОЛП.

Такой подход является наиболее эффективным при оценке новых технологий, апробированных

на практике при техническом обслуживании ЛКС ВОЛП. Таким образом, при оптимизации технологического обслуживания с помощью аппарата функциональных сетей (ФС) имеются три возможности изменения структуры технологических процессов: изменение структуры функций (F-структуры) при фиксированной структуре элементов (S-структура); изменение S-структуры при фиксированной F-структуре; изменение F- и S- структуры.

Заключение

В результате анализа методов моделирования производственного процесса технического обслуживания сложных систем выбран метод функциональных сетей. Показано, что на его основе может производиться оценка эффективности ТО ЛКС ВОЛП. Выполнен расчет показателей качества технологии охранно-разъяснительной работы ТО ЛКС ВОЛП.

Литература

1. Дружинин Г.В. Анализ эрготехнических систем. М.: Энергоиздат, 1986. – 463 с.
2. Ахьюджа Х. Сетевые методы управления в проектировании и производстве. Пер. с англ. М.: Мир, 1979. – 536 с.

3. Адаменко А.Н., Ашерев А.Г., Бердников И.Л. и др. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытания. М.: Машиностроение, 1993. – 452 с.
4. Пятибратов А.П. Человеко-машинные системы: эффект эргономического обеспечения. М.: Экономика, 1997. – 294 с.
5. Горелик А.В. Математическая модель для расчета периодичности технического обслуживания устройств автоматики // Автоматика, связь, информатика. №6, 2002. – С. 17-29.
6. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем (эффективность и надежность). М.: Радио и связь, 1997. – 221 с.
7. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргономических систем. М.: Наука, 1982. – 521 с.
8. Фатрел Р., Шафер Д. Управление программными проектами. Достижение оптимального качества при минимуме затрат. Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2004. – 357 с.
9. Зингер К. Методы проектирования программных систем. М.: Мир, 1985. – 328 с.

MODELLING OF PRODUCTION OF MAINTENANCE SERVICE OF LINEARLY-CABLE CONSTRUCTIONS OF FIBER-OPTICAL COMMUNICATION LINES

Shafigullin L.N.

In article methods of modeling of production of maintenance service of linearly cable constructions of fiber-optical lines are analyzed. The choice of a method of functional networks is proved. Realization for an assessment of efficiency of maintenance service of linearly-cable constructions is demonstrated with an example calculation.

Keywords: linearly-cable constructions, fiber-optical communication line, maintenance service, modeling of production, complex systems, efficiency.

Шафигуллин Лутфулла Нурисламович, генеральный директор ОАО «Таттелеком». Тел. (8-843) 291-02-02. E-mail: kancel@tattelecom.ru

УДК 621.396

ВТОРИЧНОЕ УПЛОТНЕНИЕ УЗКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ В РАДИОКАНАЛАХ С НЕОГРАНИЧЕННОЙ ПАМЯТЬЮ

Костюк Д.С., Кузнецов И.В., Султанов А.Х.

В статье рассмотрена задача вторичного уплотнения телекоммуникационных каналов с учетом модуляционных преобразований сигналов. Представлена модель вторичного уплотнения каналов, получены общие соотношения для нахождения характеристик вторичного канала и фильтра выделения сигналов.

Ключевые слова: вторичный канал, фильтр выделения, СПМ, узкополосный сигнал, модель вторичного уплотнения, радиоканал

Введение

Современные тенденции развития телекоммуникационных систем связаны с повы-