

Абу-Абед Ф.Н., Глодева Е.А., Допира Р.В. Многофазные модели эксплуатации сложных технических систем. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XIV Междунар. научно-техн. конф. – Пенза: ПДЗ, 2014. – С. 15-21.

УДК 519.248:874.4

## МНОГОФАЗНЫЕ МОДЕЛИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ф.Н. Абу-Абед, Е.А. Глодева, Р.В. Допира

## MULTIPHASE MODELS EXPLOITATION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

F.N. Abu-Abed, E.A. Glodeva, R.V. Dopira

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы разработки модели подсистемы обеспечения текущего ремонта элементов сложных технических систем путём включения ремонтно-диагностического оборудования (укомплектованного в ремонтно-диагностические комплексы). Работа системы представлена оригинальной многофазной, многоканальной СМО, что позволяет осуществлять оценку параметров ремонтно-диагностического комплекса. Модель СМО усовершенствована путём объединения этапов контроля и диагностики в одном узле, что упрощает расчёты. Как правило, рабочие места по контролю и диагностике различаются временем обслуживания. Ключевой задачей модели является минимизация функции времени ожидания начала ремонта и, как следствие, минимизация простоев системы.

**Ключевые слова:** ремонт, техническое обслуживание, территориально распределительные сложные технические системы, ремонтно-диагностическое оборудование, ремонтно-диагностические комплексы, запасные части и комплектующие, ЗИП, сменные элементы.

**Abstract.** The paper deals with the development of a model of the subsystem to ensure maintenance of elements of complex technical systems, by including the repair and diagnostic equipment (stocked in repair and diagnostic systems); operation of the system is represented by the original multi-phase, multi-channel queuing system that allows you to estimate the parameters of repair and diagnostic facility. Model QS improved by combining the steps of control and diagnostics in a single node, which simplifies the calculations. As a rule, control and diagnostics jobs placed at a different time of service. A key objective of the model is to minimize a function of time waiting for the repair and, as a consequence, minimizing system downtime.

**Keywords:** repair, maintenance, territorial distribution of complex technical systems, repair and diagnostic equipment, repair and diagnostic systems, spare parts and accessories, spare parts, replaceable elements.

К территориально распределительным сложным техническим системам (ТР СТС) можно отнести такие, как, например, радиотехническая система управления воздушным движением, ретрансляционная сеть сотовой связи, множество буровых установок добычи нефти [1, 5]. Каждый из элементов этих систем, в свою очередь, может рассматриваться как сложная система, состоящая из взаимосвязанных элементов (электронных, электромеханических, механических), направленных на выполнение определённых функций в процессе функционирования элементов и сложных технических систем в целом. Совокупность разнесённых в пространстве СТС, предназначенных для реализации определённой целевой функции, будем называть территориально распределёнными СТС. Для ТР СТС присущи следующие особенности организации их эксплуатации [1, 3]:

- 1) сложность оценки их состояния вследствие большого количества элементов и количества состояний самих элементов СТС;
- 2) наличие общих ресурсов для обеспечения технической эксплуатации ТР СТС;
- 3) случайный процесс технической эксплуатации СТС;
- 4) необходимость обеспечения высокой эффективности ТР СТС.

Для обеспечения реализации заданной эффективности ТР СТС организуется техническое обеспечение эксплуатации. Сложность эксплуатации ТР СТС обусловлена наличием разнотипных элементов, территориальным их разнесением, динамикой изменения состава (обновления). Недостаточная проработка запросов эксплуатации ТР СТС не позволяет в полной мере реализовать потенциальные возможности СТС в составе ТР СТС.

Для оценки надёжности ТР СТС можно использовать применяемые на практике критерии [1, 2]:

- 1) безотказность элементов СТС;
- 2) ремонтпригодность СТС;
- 3) запас ресурса.

Система технического обеспечения эксплуатации ТР СТС, создаваемая для поддержания готовности к применению по назначению СТС должна включать подсистемы [3]:

- 1) текущего ремонта и технического обслуживания;
- 2) восполнения ресурса;
- 3) обеспечения ЗИП.

Совершенствование современных СТС, рост их сложности и отставание в развитии средств и технологий обеспечения их эксплуатации привели к невозможности реализовать потенциальные возможности СТС, а иногда и значительным экономическим потерям, снижению конкурентоспособности отечественных СТС. Это обуславливает актуальность цели исследования, направленной на повышение степени реализации потенциальных возможностей ТР СТС на основе создания эффективной системы эксплуатации.

В исследованиях, проводимых в различных странах мира, разработан комплекс мер по обеспечению надёжности СТС, однако практическая реализация этих мер в части создания единой эффективной системы эксплуатации ТР СТС находится в начальной стадии. В частности, до настоящего времени недостаточно определены условия экономической целесообразности создания специальных средств ремонта и технического обслуживания СТС, обоснования структуры системы эксплуатации и организации её функционирования. Этим обусловлена *актуальность* научной задачи – разработки моделей функционирования системы эксплуатации территориально распределённых сложных технических систем промышленного назначения.

### **Методический аппарат**

Для обеспечения текущего ремонта элементов СТС необходимо разработать ремонтно-диагностическое оборудование (РДО), укомплектованное в ремонтно-диагностические комплексы (РДК). Такие перспективные средства ремонта включают в свой состав аппаратуру контроля работоспособности и диагностирования СЭ, применяемых в СТС, а также рабочие места, укомплектованные необходимым технологическим оборудованием, измерительными средствами,

инструментами и оснасткой для проведения текущего ремонта сменных элементов (СЭ). Для обеспечения функционирования средств ремонта могут оснащаться средствами электроснабжения, средствами связи, комплектами ЗИП и эксплуатационной документации. Поступающие в ремонт СЭ (заявки) проходят последовательно контроль исправности, диагностику с целью локализации неисправности и непосредственно ремонт с использованием соответствующей оснастки и ЗИП. Прошедшие ремонт СЭ повторно проходят контроль исправности и при выявлении неисправности, процесс повторяется. Если ремонт проведён успешно, СЭ возвращаются для пополнения израсходованных комплектов эксплуатационных ЗИП. Таким образом, РДК может быть представлено как многофазной, многоканальной СМО, представленной на рис. 1.

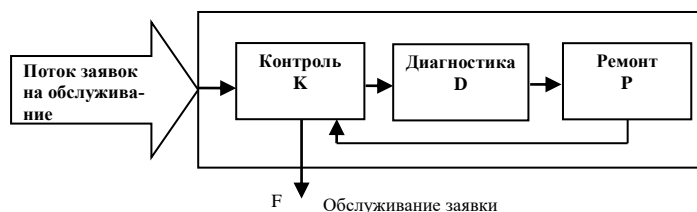


Рис. 1. Представление РДК трёхфазной СМО

Поступающие из СТС СЭ представляют собой входной поток РДК. Исправные СЭ, попавшие на входной поток по ложной регистрации отказа (вероятность  $F$ ), после контроля попадают на выходной поток. Остальные проходят диагностику и ремонт на последующих участках – диагностики  $D$  и ремонта  $P$ .

Прошедшие ремонт СЭ с вероятностью  $P_{рем}$  после повторного контроля уходят на выходной поток, а с вероятностью  $P_{рем} = 1 - P_{рем}$  на участок диагностики и, в последующем, на участок ремонта и т.д.

Многофазные СМО состоят из нескольких типовых узлов расположенных последовательно, т.е. представляют собой совокупность нескольких СМО [4, 5].

Все заявки, обслуженные в одном узле, направляются в следующий узел. Другими словами, выходной поток одного узла многофазной СМО является входным потоком для следующего.

Точный расчёт характеристик таких СМО возможен только в случае, если все потоки заявок являются пуассоновскими, а все времена обслуживания – экспоненциальными случайными величинами. В других случаях возможен лишь приближенный расчёт характеристик СМО.

При расчёте характеристик многофазных СМО необходимо учитывать следующее:

- если на вход СМО поступает *несколько* потоков заявок, то интенсивность полного потока заявок в этой СМО равна *сумме* интенсивностей отдельных потоков;

- если на вход СМО поступает *часть* заявок из некоторого потока, интенсивность которого равна  $\lambda$ , то интенсивность входного потока заявок в СМО можно определить по формуле

$$\lambda_{вх} = P\lambda, \quad (1)$$

где  $P$  – вероятность попадания заявки во входной поток;

- интенсивность выходного потока в СМО (т.е. потока обслуженных заявок) равна интенсивности входного потока.

В большинстве случаев интервалы времени между моментами поступления заявок и/или времена обслуживания заявок в СМО представляют собой случайные величины, т.е. в большинстве случаев заранее точно неизвестно, когда поступит очередная заявка и сколько времени займёт её обслуживание. Поэтому теория систем массового обслуживания основана на математическом аппарате теории вероятностей и математической статистики.

Интервалы времени между моментами поступления заявок и времена обслуживания заявок в СМО обычно представляют собой случайные величины.

Любая СМО может быть представлена в виде одного или нескольких типовых узлов [4, 5].

Контроль исправности СЭ в РДК можно рассматривать как диагностику без локализации неисправности. Как правило, рабочие места по контролю и диагностике различаются временем обслуживания.



Рис. 2. Представление РДК двухфазной СМО

Пусть в СМО, которые обслуживают заявки нескольких типов, различающихся по времени обслуживания, обслуживается  $R$  типов заявок. Обозначим долю заявок  $i$ -го типа в потоке заявок как  $P_i$ ,  $i=1, \dots, R$ ,  $P_1 + P_2 + \dots + P_R = 1$ . Времена обслуживания заявок разных типов представляют собой случайные (или детерминированные) величины; для расчёта характеристик СМО законы распределения этих величин должны быть известны. Среднее время обслуживания заявки  $i$ -го типа обозначим как  $\bar{x}_i$ ,  $i = 1, \dots, R$ . Для расчёта характеристик таких СМО необходимо определить среднее время обслуживания и коэффициент вариации времени обслуживания всех заявок в СМО. Среднее время обслуживания заявок находится по формуле

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^R P_i \bar{x}_i. \quad (2)$$

Для определения коэффициента вариации времени обслуживания всех заявок применяются формулы известные из теории вероятностей.

Дальнейший расчёт характеристик СМО выполняется точно так же, как для любой СМО типа  $M/G/1$ ,  $G/G/1$ ,  $M/G/m$  или  $G/G/m$ .

Известная модель СМО усовершенствована путём объединения контроля и диагностики в одном узле, что упрощает расчёты. Как правило, рабочие места по контролю и диагностике отличаются по времени обслуживания. Контроль исправности можно рассматривать как диагностику без локализации неисправности.

## Заключение

В работе система технической эксплуатации СТС представлена в виде двух СМО. Первая представляет РДК в виде многофазной многоканальной СМО и позволяет оценить оптимальные параметры РДК (количество каналов контроля, диа-

гностики и ремонта). Модель СМО усовершенствована путём объединения контроля и диагностики в одном узле, что упрощает расчёты. Как правило, рабочие места по контролю и диагностике отличаются по времени обслуживания. Контроль исправности можно рассматривать как диагностику без локализации неисправности. Предлагаемая модель, в отличие от известных ранее, позволяет оценить характеристики системы ремонта как СМО.

#### Библиографический список

1. Сулаев Р.С. Теория и методы реализации потенциального уровня качества сложных, пространственно-распределённых радиоэлектронных систем на этапе эксплуатации : монография. – М.: Государственный научно-исследовательский институт «Аэронавигация», 1999.

2. ГОСТ 27.002–89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990.

3. Арепин Ю.И., Допира Р.В., Щербинко А.В. Методика военно-экономического анализа целесообразности разработки (модернизации) различных классов РЛС // Радиопромышленность. – 2008. – Вып. 1.

4. Абу-Абед Ф.Н. Имитационное моделирование процессов ремонтно-технического обслуживания нефтяных скважин // Программные продукты и системы. – 2010. – № 4. – С. 43.

5. Абу-Абед Ф.Н., Аверкин В.Н., Кордюков Р.Ю., Щербинко А.В. Имитационное моделирование системы ремонта и технического обслуживания буровых установок // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – № 4. – С. 19–21.

#### **Абу-Абед Фарес Надимович**

Тверской государственный  
технический университет,

г. Тверь, Россия

E-mail: [aafaresh@mail.ru](mailto:aafaresh@mail.ru)

#### **Abu-Abed Fares**

Tver State Technical University,

Tver, Russia

#### **Глодева Елена Андреевна**

Тверской государственный  
технический университет,

г. Тверь, Россия

E-mail: [elena\\_glodeva@mail.ru](mailto:elena_glodeva@mail.ru)

#### **Glodeva Elena Andreevna**

Tver State Technical University,

Tver, Russia

#### **Допира Роман Викторович**

Научно-производственное  
объединение "Русские базовые  
информационные технологии",  
Обособленное предприятие  
ОАО "НПО РусБИТех",

г. Тверь, Россия

E-mail: [rvidopira@yandex.ru](mailto:rvidopira@yandex.ru)

#### **Dopira Roman Viktorovich**

Scientific and Production Association  
"Russian basic information  
technology", Separate enterprise  
"NPO RusBITeh", Tver, Russia