

УДК 681.58

Модель системы управления газотурбинным агрегатом на базе конечных автоматов

Клюева Светлана Федоровна, кандидат технических наук,
ведущий инженер–программист,
Белугин Владимир Георгиевич, главный эксперт по системам управления
АО «Аэроэлектромаш» (г. Москва).

Аннотация. В статье описан метод построения модели управления газотурбинным агрегатом специального назначения на основе конечных автоматов. Устройство управления газотурбинным агрегатом выполняет функции формирования команд запуска и управления, логика управления реализована на базе отечественных микроконтроллеров.

Ключевые слова: конечный автомат, газотурбинный агрегат, автоматное программирование, диаграммы состояний.

Введение

Эффективность и качество автоматизации управления сложными техническими объектами зависит от того, насколько качественно продумана модель управления состояниями объекта. Конечный автомат – концепция, которую целесообразно использовать для построения модели управления техническими объектами, и структурирования программных приложений в вычислительных устройствах управления такими объектами [1–4].

Модель объекта на основе конечных автоматов позволяет в явном виде определить действительные состояния объекта управления и задать соответствующие варианты при переходах из одного состояния в другое. При этом модель объекта может использовать несколько конечных автоматов, для каждого из которых определяется собственный набор вариантов поведения, или автоматы можно объединить в один «главный автомат».

В предлагаемой статье рассматривается метод построения модели управления газотурбинным агрегатом специального назначения на основе конечных автоматов.

Система управления

Принцип работы газотурбинных двигателей и систем широко описывается современными исследователями в отечественной и зарубежной литературе [5–10]. Предлагаются различные подходы и методы моделирования по управлению ГТД (ГТА), актуальными являются концепции автоматного программирования с использованием аппарата конечных автоматов [11]. В общем виде система управления газотурбинным агрегатом включает (СУ ГТА): устройство управления (УУ), устройство сопряжения (УС), газотурбинный агрегат (ГТА) и пульт управления и индикации (ПУ) рис. 1.

Устройство управления выполняет функции формирования команд запуска и управления, а также вспомогательные операции при техническом обслуживании в составе системы электроснабжения ГТА. Устройство управления включает блок логического управления, основой которого являются микроконтроллеры. Устройство сопряжения выполняет функции защиты и контроля системы, и является связующим звеном (стыковочным устройством) в передаче параметров между блоком ГТА и УУ.

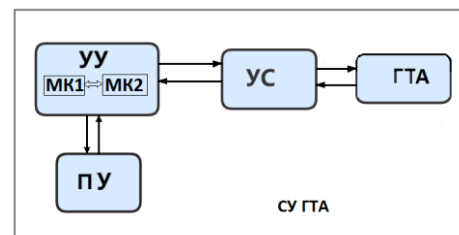


Рис. 1. Схема системы управления ГТА

Логика управления

Блок логического управления состоит из нескольких конечных автоматов. За каждый рабочий цикл каждый автомат выполняет один шаг. Автоматы выполняют действия над локальными переменными, получают входные сигналы и взаимодействуют с другими автоматами посредством флагов. Схема взаимодействия автоматов показана на рис. 2.

Автомат «А» реализует логику переключения режимов работы ГТА, обработки нажатий кнопок на ПУ и взаимодействия со стыковочным устройством – УС.

Автомат «G» реализует циклограммы запуска ГТА, ложного запуска и холодной прокрутки. Автомат «V» реализует циклограммы открытия и закрытия люков ГТА.

Режимы работы

Система управления ГТА работает в двух основных режимах управления:

- местное управление с пульта управления (ПУ);
- дистанционное управление – управление с дистанционного пульта через стыковочное устройство объекта.

При местном управлении системой должны исполняться только команды, вводимые с пульта управления, на команды, поступающие от стыковочного устройства система реагировать не должна. При дистанционном управлении системой должны исполняться только команды, поступающие от стыковочного устройства, команды, поступающие с ПУ системой исполняться не должны.

Система должна обеспечивать выдачу в стыковочное устройство объекта сигналов «местное управление» или «дистанционное управление».

Обобщенная диаграмма состояний конечного автомата системы с учетом основных режимов работы показана на рис.3.

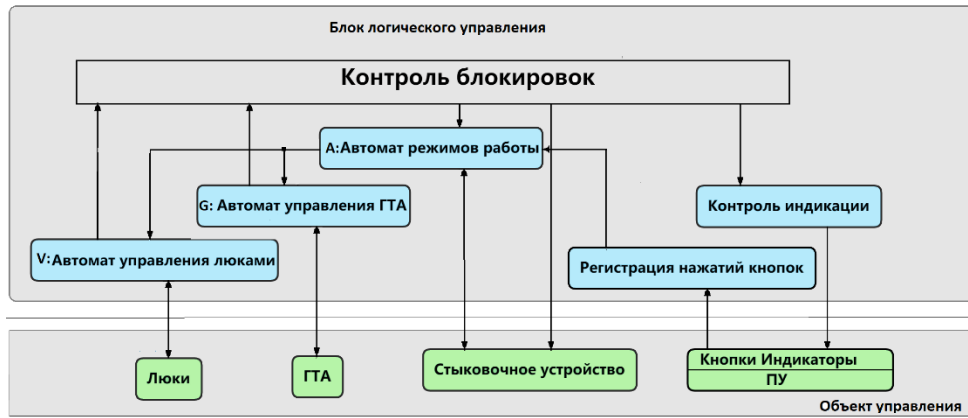


Рис. 2. Блок логического устройства

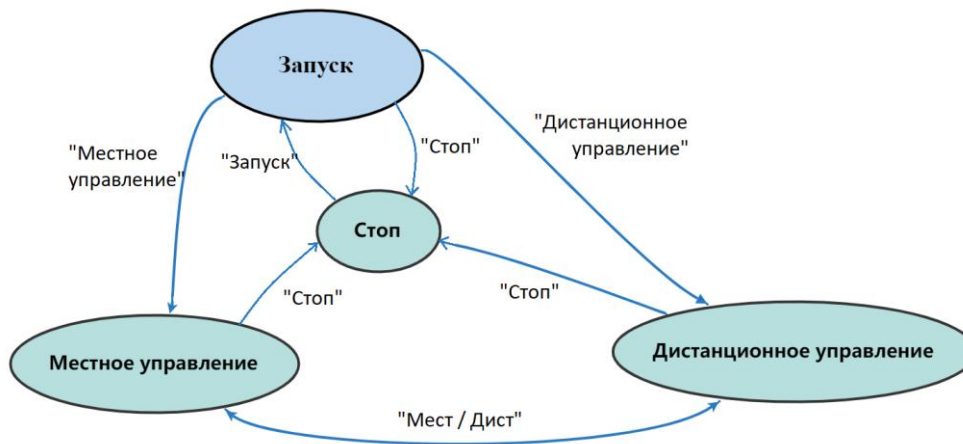


Рис. 3. Диаграмма состояний общего алгоритма

Состояния переходов системы следующие:

- по сигналу «запуск» система переходит в состояние «Запуск» ожидания переключения в один из режимов работы;
- по сигналу «Местное управление» с ПУ происходит переход системы в режим местного управление;
- по сигналу «Дистанционное управление» - в режим дистанционного управления.

Из режима «Местное управление» можно перейти в режим «Дистанционное управление» и наоборот.

Функции режимов работы

В каждом из режимов работы система выполняет ряд функций для основного и резервного канала, рис. 4.

В режиме «Дистанционное управление» не исполняются функции «Холодной прокрутки», «Ложного запуска» и «Пооперационного запуска». Каждая функция характеризуется своими переходными состояниями системы, входными и выходными сигналами. Переход в каждом режиме к выполнению вышеперечисленных функций выполняется совокупностью последовательных сигналов на входе и выходе УУ, имеющих строго определенное по времени исполнение.

Диаграмма состояний для «Местного управления» показана на рис. 5.

Диаграмма состояний «Местного управления» включает состояния системы для режимов пооперационного запуска, автоматического запуска, холодной прокрутки и ложного запуска. При поступлении на вход УУ сигнала «Местное управление», на выходе УУ формируется сигналы, необходимые для перехода системы в один из режимов работы, при отсутствии неисправностей, блокирующих запуск системы.

Автоматический режим запускается по сигналу «Запуск» с ПУ. Система переходит к процессу открытия люков ГТА. Если люки открылись, происходит запуск ГТА и исполнение рабочего процесса. В противном случае выполняется остановка системы. По сигналу «Стоп ГТА» люки закрываются, система останавливается.

Пооперационный запуск, или «Ручной режим» запускает систему при помощи сигналов «Открыть люки», «Запуск и зажигание», далее система переходит на режим работы и останов по сигналу «Стоп». Окончание работы сопровождается закрытием люков. Режим «Ложного запуска» выполняется по сигналу «Запуск и не зажигание». Режим «Холодной прокрутки» выполняется по сигналам «Холодная прокрутка» и «Люки открыты» на входе устройства управления.

Диаграмма состояний для дистанционного управления показана на рис. 6.

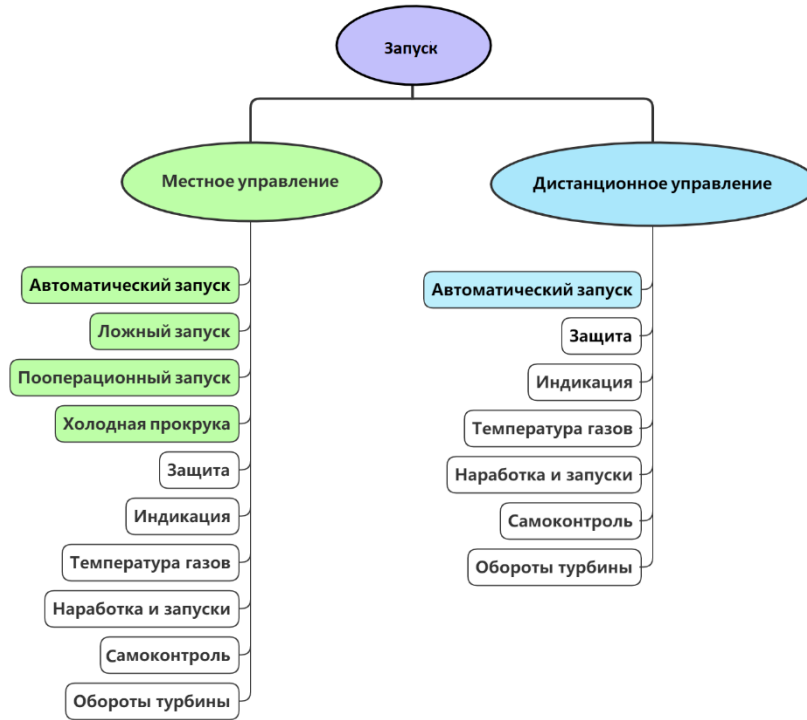


Рис. 4. Режимы работы ГТА

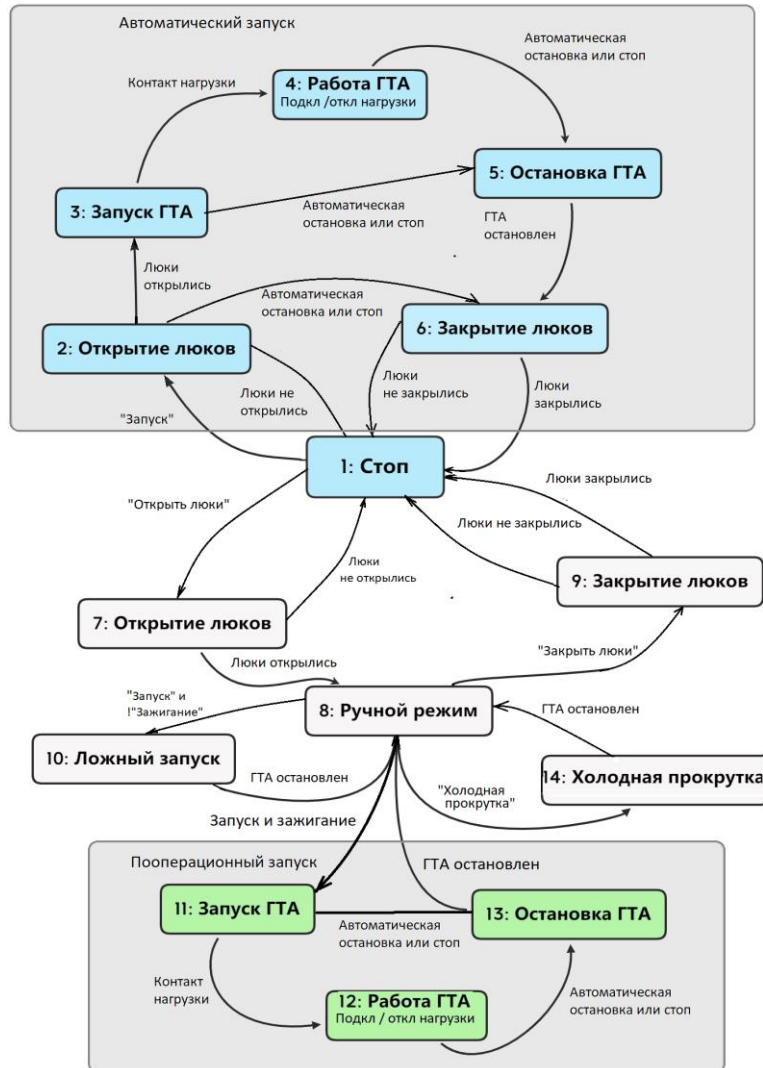


Диаграмма состояний автомата А
 Переходы указаны для режима местного управления

Рис. 5. Диаграмма состояний «Местного управления»

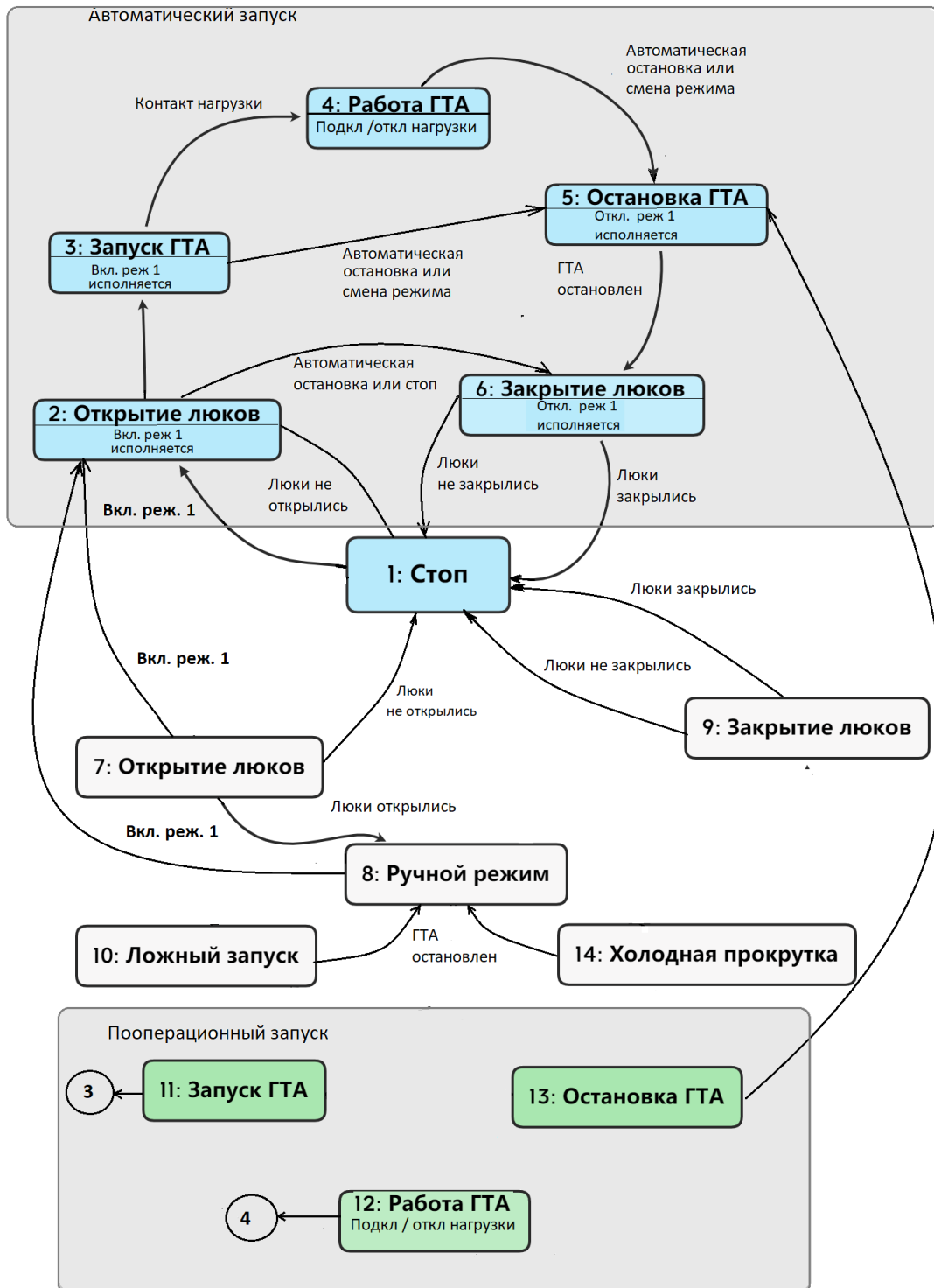


Диаграмма состояний автомата А
 Переходы указаны для режима дистанционного управления

Рис.6. Диаграмма состояний дистанционного управления

Диаграмма состояний для сигнала «Пожар» представлена на рис. 7.

По сигналу «Пожар» на входе и с выхода УУ снимаются все сигналы и одновременно появляется сигнал «Закрыть люки», после чего система блокируется.

Программная реализация

В арсенале традиционных методов автоматного программирования для переключения конечных автоматов используются блоки операторов

«switch/case» (на языке программирования «Си»), для определения текущего варианта изменения состояния объекта, а так же цепочки условных операторов «if/else», при этом каждое состояние описано отдельной функцией [11]. Известен табличный метод задания конечных автоматов. В работе [3] описан метод переключения на основе объединений «enum» и массива указателей на функции состояний.

Автоматический запуск

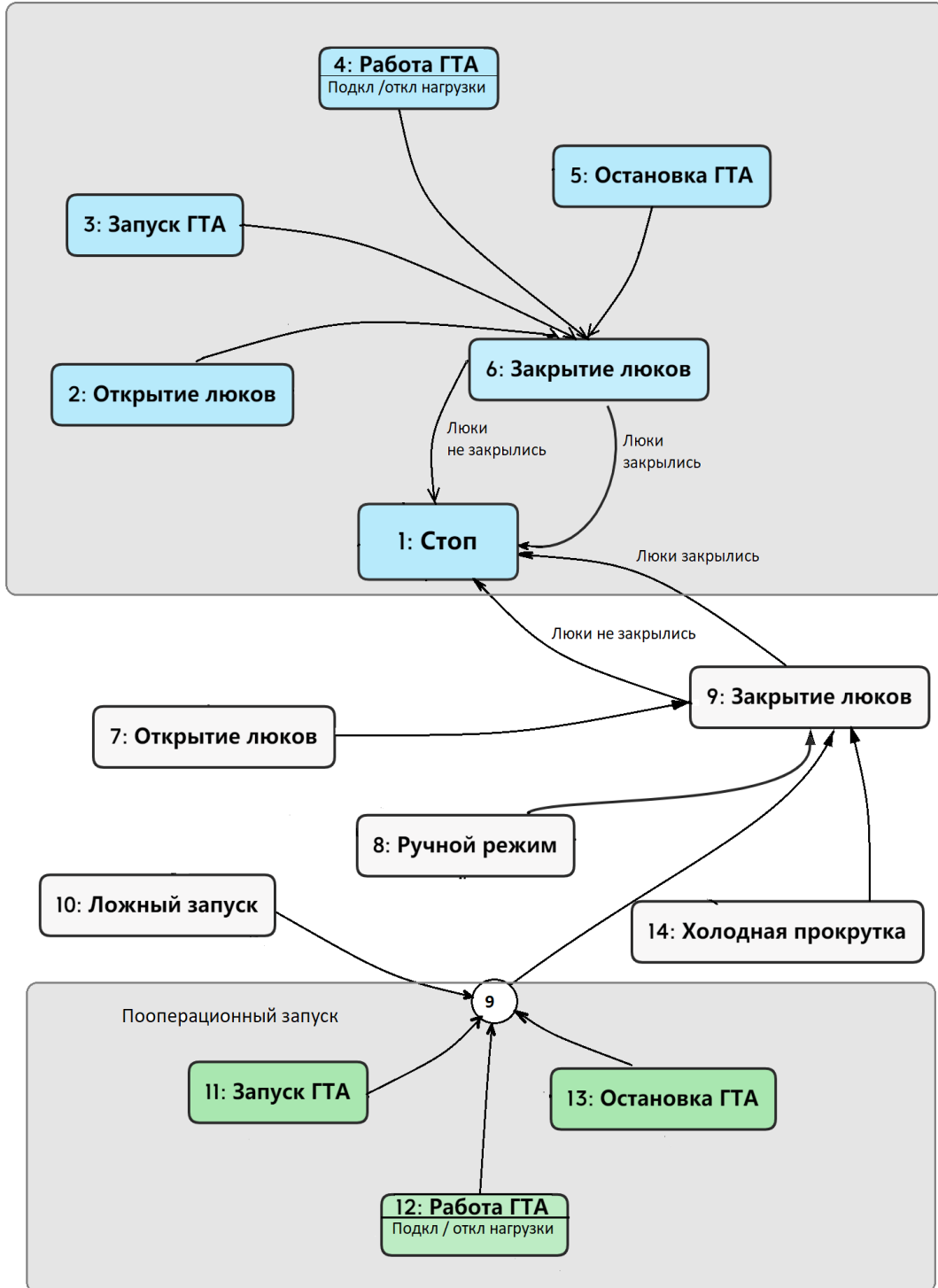


Диаграмма состояний автомата А
 Переходы указаны для сигнала "Пожар"

Рис. 7 Диаграмма состояний для сигнала «Пожар»

Программы системы управления ГТА для переключения автоматов используют массивы флагов, в свою очередь флаги формируются в зависимости от входных и выходных сигналов и времени переходных состояний. Например, если люки не закрылись в течение 60 секунд с момента подачи команды «Закрыть люки», то система формирует команду «Люки не закрылись», и далее формируется команда «Стоп». Система переходит в состояние останова с выдачей сигнала неисправности «Люки не закрыты» на табло

пульта управления. Аналогично с командой «Открыть люки».

Заключение

В работе выполнено построение обобщенной модели управления ГТА с использованием концепции конечных автоматов. Описаны основные функции системы и режимы работы, приведены диаграммы режимов работы системы. Для более подробного описания программного обеспечения системы требуется отдельная публикация.

Литература:

1. Поликарпова Н. И., Шалыто А. А. Автоматное программирование. 2008. – 167 с.
2. Шалыто А. А. Технология автоматного программирования // Труды первой Всероссийской научной конференции «Методы и средства обработки информации». – М.: МГУ. – 2003. С. 528-535.
3. Martin Gomez. Embedded state machine implementation // Embedded Systems Programming, 2000, pp. 41.
4. Добрынин А. С., Кулаков С. М., Пургина М. В., Койнов Р. С. О применении графовых моделей в системах автоматизации сложных нестационарных технологических объектов // Кибернетика и программирование. 2018. № 3. С.63-71.
5. Петунин В. И. Синтез систем автоматического управления газотурбинными двигателями с селектором каналов // УГАТУ. 2008. Т.11, №1 (28). С. 3-10.
6. Петунин В.И Математические модели многосвязных систем автоматического управления селекторами каналов // УГАТУ. 2011. Т.15, №2 (42). С. 52-58.
7. Basic Concepts for Forcing of Low-Power Micro Turbine Generators B. Arava, R. Shulmana , V. Doounb // Procedia Engineering 150 (2016). pp. 1384 – 1390.
8. M.J. Moore, Micro-turbine Generators // Professional Engineering Publishing, London, 2002.
9. G. G. Kulikov and H. A.Thompson, Dynamic Modelling of Gas Trubines: Identification, Simulation // Condition Monitoring and Optimal Control: Springer, 2004.
10. T. V. Breikin, V. Y. Arkov, and G. G. Kulikov. Regularisation approach for real-time modelling of aero gas turbines // Control Engineering Practice, UKACC Conference Control 2002, vol. 12, pp. 401-407, 2004.
11. Туккель Н. И., Шалыто А. А. SWITCH-технология – автоматный подход к созданию программного обеспечения «реактивных» систем // Программирование. 2001. № 5. С. 45-62.