

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЛАЗЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫМ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ

А.Н. Шемякин, М.Ю. Рачков



РАЧКОВ
Михаил
Юрьевич

Доктор технических наук, профессор, академик Российской академии космонавтики. Заведующий кафедрой «Автоматика, информатика и системы управления» Московского государственного индустриального университета. Специалист в области автоматизации, робототехники и измерительных систем. Автор более 250 работ, в том числе 12 книг и более 60 изобретений. Монографии по роботам вертикального перемещения и по автоматизации разминирования являются приоритетными в данных областях. Член Учебно-методического совета по автоматизации машиностроения Минобрнауки РФ. Член редколлегии научно-технического журнала «Мехатроника, автоматизация, управление».

Введение

Устройства управления на основе микропроцессоров (МП) повсеместно применяются для автоматизации технологических процессов и работы оборудования, в частности, в системах управления лазерными технологическими

комплексами. Во многих областях, таких как военная и космическая техника, энергетика, транспорт, автомобилестроение, медицина, машиностроение на первый план выходит надежность функционирования МП систем управления. Учитывая, что элементы системы на базе МП функционируют последовательно, то в результате отдельного сбоя это может привести к отказу всей системы. Причины таких отказов и сбоев должны устанавливаться, в результате чего работа системы управления автоматически блокируется или корректируется.



ШЕМЯКИН
Андрей
Николаевич

Научный сотрудник лаборатории лазерных разрядов Института проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН. Специалист в области автоматизации научных экспериментов, приборов и лазерного технологического оборудования. Автор 15 научных работ. Член Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям.

Методы диагностирования систем управления лазерами

Существуют три основных метода для диагностирования МП-систем: тестирование, избыточность и использование внешних контрольных аппаратных средств [1].

Наиболее перспективным подходом при диагностировании МП-систем управления лазерами является создание системы их самодиагностирования [2] с помощью встроенных средств.

При тестировании МП реализует самопроверку при помощи диагностических программных средств [3]. Для этой процедуры используется принцип расширяющегося ядра. Сначала проверяется центральный процессор, затем ПЗУ, ОЗУ и периферийные устройства ввода-вывода. Такое тестирование обычно проводится после включения питания или сброса МП-системы. После успешного прохождения тестов, при их правильной организации и достаточной полноте, можно с большой степенью уверенности утверждать, что МП-система находится в работоспособном состоянии. Недостатком этого метода является то, что проверка проводится только в начале работы устройства управления. Конечно, теоретически можно организовать постоянное тестирование устройства управления в фоновом режиме, но на практике это, как правило, не представляется возможным из-за ограниченности вычислительных ресурсов МП-системы и необходимости решения сложных задач управления в реальном времени.

Избыточность предполагает использование специальных кодов или дублирование. Специальные коды, например, контроль четности, коды Хэмминга и Файра, применяются для обнаружения ошибок системной памяти [4]. Однако для использования этого метода требуется хотя бы один дополнительный контрольный бит, а существующие МП имеют фиксированную разрядность (8-16-32 бита) и не приспособлены для работы с дополнительными битами.

При дублировании две МП-системы работают параллельно и для обнаружения ошибок проводится сравнение их выходных сигналов. Если при этом обнаруживается ошибка, то вырабаты-

вается тревожный сигнал и оба МП-устройства управления останавливаются. К недостаткам этого метода следует отнести совершенную аппаратную избыточность, поэтому он применяется только в наиболее ответственных областях, таких как военная, космическая техника и атомная энергетика, когда ошибка управления может привести к катастрофическим последствиям.

Использование внешних контрольных аппаратных средств предполагает либо логическую схему обнаружения ошибок, либо временной контроль работы МП. Преимуществом этого метода, по сравнению с тестированием, является постоянный контроль над работой МП-системы управления.

Логическая схема обнаружения ошибок может контролировать сигналы адресов, данных и управления МП и выдавать тревожный сигнал в случае обнаружения ошибки. На практике применяются схемы контроля шины, обеспечивающие обнаружение постоянных уровней логического нуля или логической единицы на шине адресов или данных, схемы контроля дешифраторов, обеспечивающие единственность выбора микросхем памяти или ввода-вывода, а также различные комбинаторные и последовательные схемы для контроля памяти и периферийных устройств ввода-вывода. В работе [5] предложена аппаратная схема встроенного контроля за выполнением команд МП-системы управления в заданной последовательности. Логическая схема позволяет выявлять пропадание, искажение и замену команды, анализируя код команды и значение дополнительных диагностических разрядов ПЗУ. При трех диагностических разрядах вероятность выявления ошибки равна 0,96. Все эти схемы контролируют правильность внутренней работы МП-системы.

В случае функционального диагностирования, логическая схема обнаружения ошибок контролирует правильность выполнения алгоритма управления. Например, в работе [6] логическая схема контролирует последовательность и период повторения адресных и управляющих сигналов ввода-вывода МП-системы управления промышленным роботом. Для этой системы управ-

ления характерен повторяющийся программный цикл, состоящий из программных модулей «Вычислить значение уставок» и «Отследить значение уставок» по заданным каналам управления. При правильном функционировании системы управления определенная последовательность адресных и управляющих сигналов должна повторяться с периодом меньшим максимально допустимого.

Метод функционального диагностирования позволяет постоянно контролировать правильность работы МП-системы управления, но не обладает универсальностью. Практическая реализация логической схемы обнаружения ошибок в каждом конкретном случае привязана к особенностям алгоритма управления объектом.

Универсальным методом аппаратного контроля является временной контроль работы МП, основанный на том, что для выполнения конкретной работы МП требуется определенное количество времени. В этом случае показателем правильности функционирования МП служит время, затраченное на выполнение некоторой операции. Примером аппаратной реализации этого метода может служить сторожевой таймер со временем срабатывания t_2 , который программно запускается МП в начале работы. Если через время $t_1 < t_2$ таймер не будет программно сброшен, то он подает тревожный сигнал и сбрасывает МП-систему. После сброса сторожевой таймер снова запускает МП. Процедура сброса и запуска сторожевого таймера обычно организуется через периодическое прерывание работы МП, таким образом, работоспособность МП-системы оценивается по ее способности реагировать на прерывания.

Метод временного контроля нашел широкое практическое применение в современных микроконтроллерах, снабженных встроенными сторожевыми таймерами [7] и предназначенных для тех областей, где предъявляются повышенные требования к надежности.

К недостаткам схем временного контроля следует отнести тот факт, что в случае обнаружения аварийной ситуации эти схемы выдают тревожный сигнал и сбрасывают микропроцес-

сор. При этом управление объектом аварийно завершается и состояние управления, предшествовавшее аварийной ситуации, не сохраняется.

Разработанная схема контроля реализована для быстропоточного лазера на углекислом газе с замкнутым газовым циклом и несамостоятельным продольным тлеющим разрядом. В основе работы такого лазера лежит способ организации тлеющего разряда в камере большого объема – несамостоятельный тлеющий разряд с импульсной емкостной предионизацией. Это комбинированный разряд, в котором функции создания проводимости плазмы и вклада энергии в разряд разделены между двумя различными типами разрядов. Проводимость обеспечивается импульсным емкостным разрядом, а вклад энергии – прохождением тока основного разряда через плазму с концентрацией электронов, задаваемой предионизацией. Такой способ организации разряда позволяет легко управлять вкладываемой мощностью, а значит и мощностью выходного излучения, обеспечивает высокую оптическую однородность, стабильность разряда и высокий кпд.

Средства защиты лазерного технологического комплекса

В рассматриваемой системе управления лазерного технологического комплекса (ЛТК) с несамостоятельным тлеющим разрядом предусмотрены аппаратные средства защиты: схема обработки аварийных ситуаций и специальная схема сброса МП, которые совместно со специальной подпрограммой обработки аварийных ситуаций позволяют своевременно выявить сбой или отказ в системе управления ЛТК и отреагировать на них надлежащим образом.

В случае возникновения отказа системы управления происходит аварийное выключение ЛТК, при котором оператору выдаются звуковой и визуальный аварийные сигналы.

В случае возникновения сбоя устройство пытается продолжить работу с последнего блока программы перед сбоем. Главная программа системы управления состоит из отдельных

блоков, выполняющих определенные этапы последовательного включения-выключения лазера. Номер текущего выполняемого блока программы сохраняется в защищенной области ОЗУ. Если подпрограмме обработки аварийных ситуаций удастся вернуться в начало блока перед сбоем, то выдается сообщение о сбое и работа продолжается. В противном случае ЛТК аварий-

но выключается и выдаются звуковой и визуальный аварийные сигналы.

Если количество сбоев системы управления станет равно десяти, то оператору выдается сообщение «МНОГО СБОЕВ, ВЫХОД ЧЕРЕЗ МЕНЮ», управление ЛТК в автоматическом режиме прекращается, и система управления переходит в интерактивный режим «Меню».

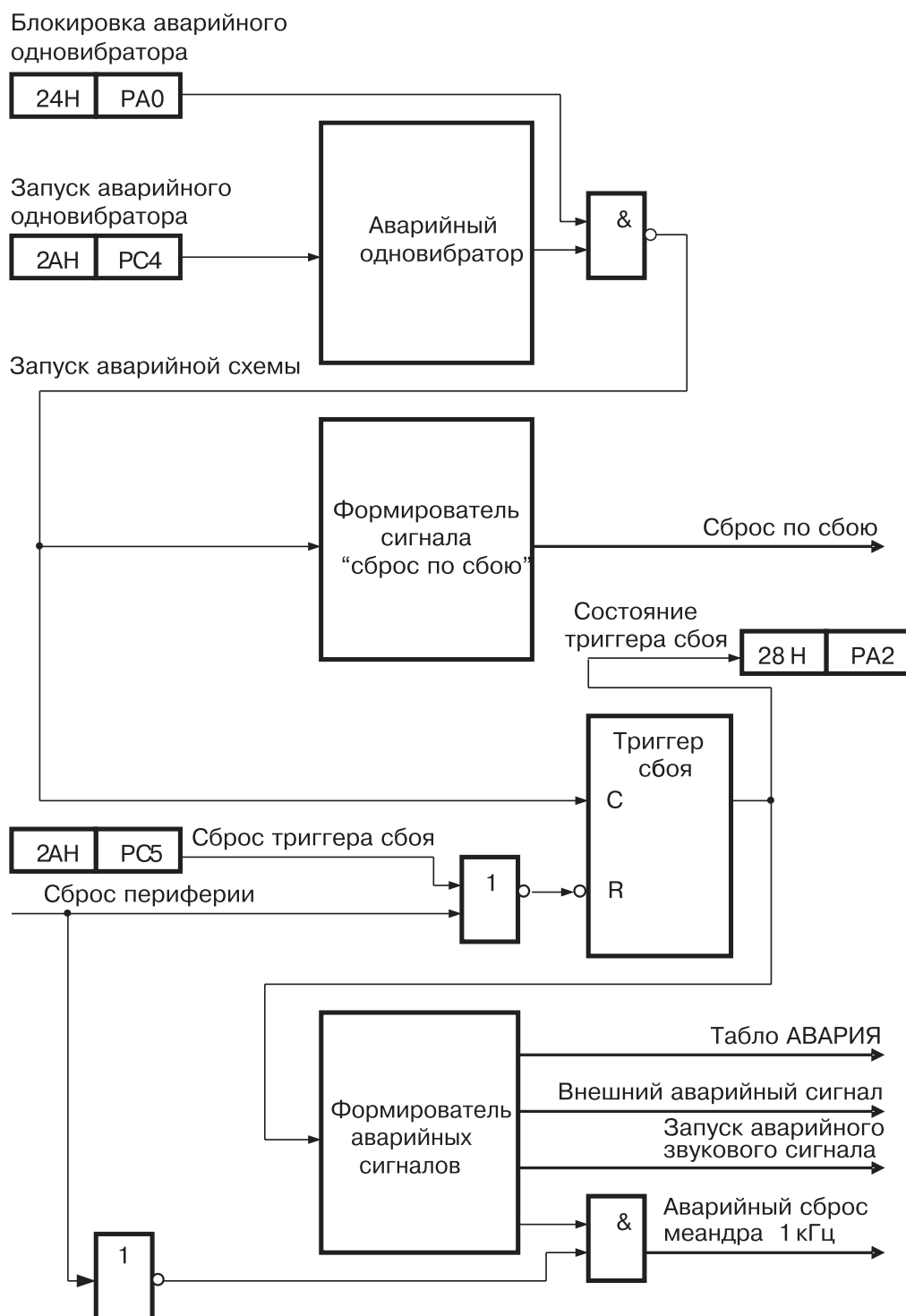


Рис. 1. Схема обработки аварийных ситуаций

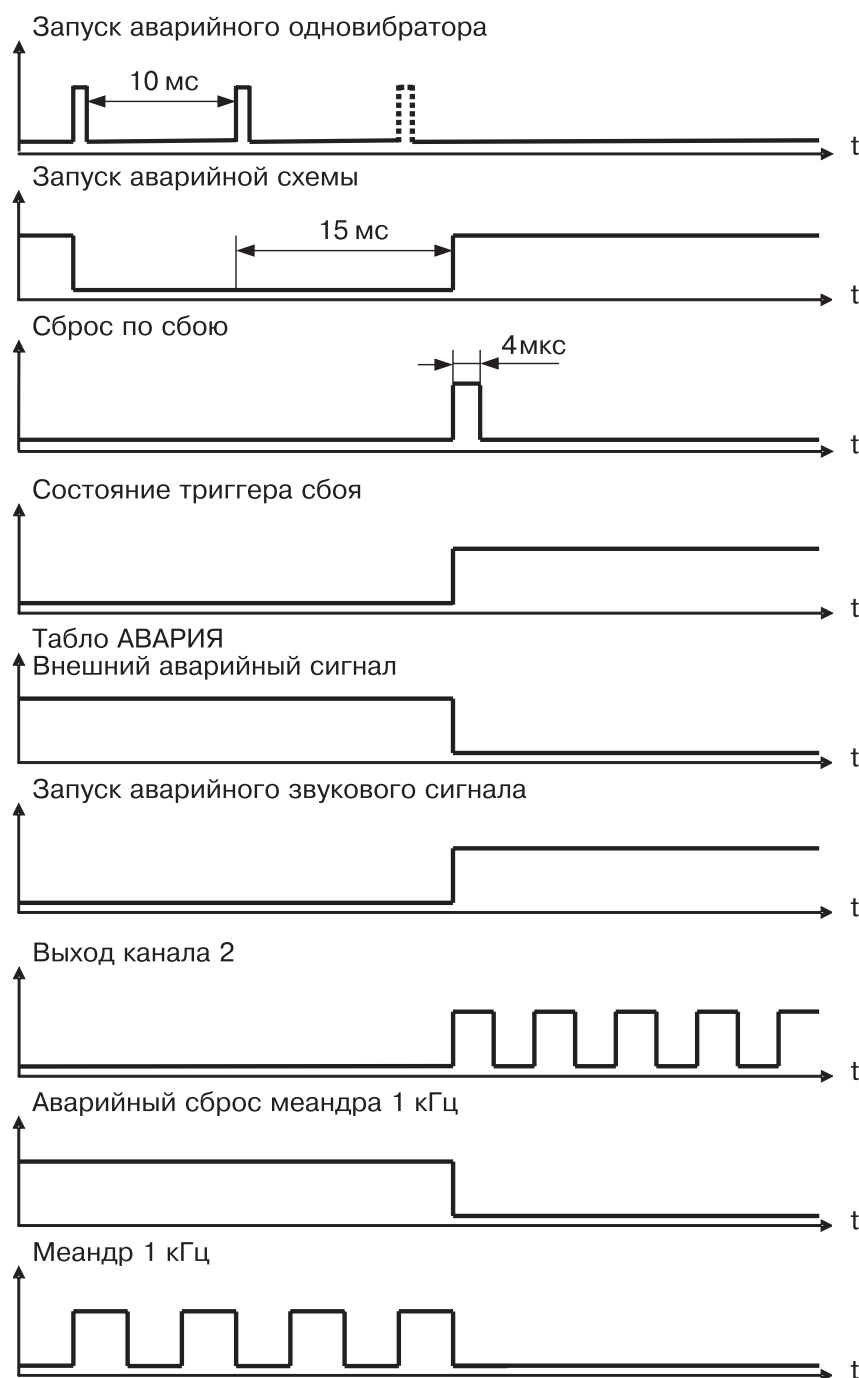


Рис. 2. Временная диаграмма работы схемы обработки аварийных ситуаций

Схема обработки аварийных ситуаций изображена на рис. 1, а временная диаграмма ее работы – на рис. 2.

Аварийный одновибратор выполняет функцию сторожевого таймера. Каждый раз во время выполнения подпрограммы обработки прерывания «Таймер 100 Гц» он программно запускается сигналом «Запуск аварийного одновибратора», поступающим с выходного разряда РС4 параллельного интерфейса КР580ВВ55

с адресом 2АН. Аварийный одновибратор вырабатывает импульс длительностью порядка 15 мс. Если одновибратор будет периодически запускаться через 10 мс, то на его выходе установится постоянный уровень «логическая 1». Это будет свидетельствовать о том, что микропроцессорное устройство управления лазерным технологическим комплексом (МП УУ) находится в рабочем состоянии.

Основные функции МП УУ заключаются в

автоматическом включении лазера и выходе его на заданный режим, автоматическом выключении лазера при окончании работы, управлении мощностью излучения от технологического устройства, обмене газовой смеси во время работы лазера, контроле основных параметров лазера, обработке аварийных ситуаций и взаимодействии с оператором, а также в обеспечении связи с ЭВМ верхнего уровня управления.

Работа аварийного одновибратора может быть заблокирована программным сбросом сигналом «Блокировка аварийного одновибратора», поступающим с выходного разряда PA0 параллельного интерфейса KP580BB55 с адресом 24H. В случае возникновения сбоя в работе системы управления МП «зависает» и перестает обслуживать прерывания. Очередной запуск аварийного одновибратора не происходит и вырабатываемый им импульс длительностью 15 мс заканчивается. Выходной сигнал одновибратора «Запуск аварийной схемы» переходит на уровень «логический 0».

Фронт сигнала «Запуск аварийной схемы» вызывает аппаратную установку триггера сбоя и формирование сигнала «Сброс по сбою». Формирователь сигнала «Сброс по сбою» вырабатывает его длительностью порядка 4 мкс. Этот сигнал поступает в схему сброса. Назначение этого сигнала подробно описано при рассмотрении схемы сброса.

Триггер сбоя предназначен для аппаратной индикации сбоя. Он может быть аппаратно сброшен установкой сигнала «Сброс периферии». Значение выходного сигнала триггера сбоя «Состояние триггера сбоя» может быть программно считано с разряда PA2 параллельного интерфейса KP580BB55A по адресу 28H. В начале работы, сразу после сброса, МП анализирует состояние триггера сбоя. Если этот триггер сброшен, то управляющая программа считает это состояние нормальным началом работы и переходит к стандартной процедуре включения лазера. Установленный триггер сбоя свидетельствует о сбое в работе системы управления. В этом случае управляющая программа переходит к процедуре восстановления управления

после сбоя. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен при описании алгоритма начала работы МП УУ. В случае успешного восстановления управления триггер сбоя программно сбрасывается сигналом «Сброс триггера сбоя», поступающим с выходного разряда PC5 параллельного интерфейса KP580BB55 с адресом 2AH.

Установка триггера сбоя запускает формирователь аварийных сигналов, аппаратно сбрасывающий сигналы «Табло АВАРИЯ», «Внешний аварийный сигнал», «Аварийный сброс меандра 1 кГц» и устанавливающий сигнал «Запуск аварийного звукового сигнала».

Сброс сигнала «Табло АВАРИЯ», расположенное на панели сигнализации пульта управления, включает табло. Установка сигнала «Запуск аварийного звукового сигнала» обеспечивает выдачу аварийного звукового сигнала. Таким образом, оператору подаются визуальный и звуковой сигналы, которые информируют его о возникновении сбоя в МП УУ.

Сброс сигнала «Аварийный сброс меандра 1 кГц» запрещает выдачу сигнала «Меандр 1 кГц», отсутствие которого при работе лазера в автоматическом режиме вызывает аварийное отключение лазера.

«Внешний аварийный сигнал» через устройство передачи цифровых данных «Электроника МС 4101» передается в блок ручного управления лазера «Лантан-3» и может быть использован для оповещения внешних технологических устройств об аварии в системе управления лазером. Это позволит им аварийно завершить выполняемую технологическую операцию.

При успешном восстановлении управления после сбоя триггер сбоя программно сбрасывается, вызывая сброс всех аварийных сигналов. Так как время восстановления составляет около 2 мс, т.е. сравнительно мало, то оператор и исполнительные механизмы лазера и внешних технологических устройств не реагируют на кратковременную установку аварийных сигналов.

Если устройству управления после сбоя восстановиться не удастся, то аварийные сигналы остаются в активном состоянии, что приводит к

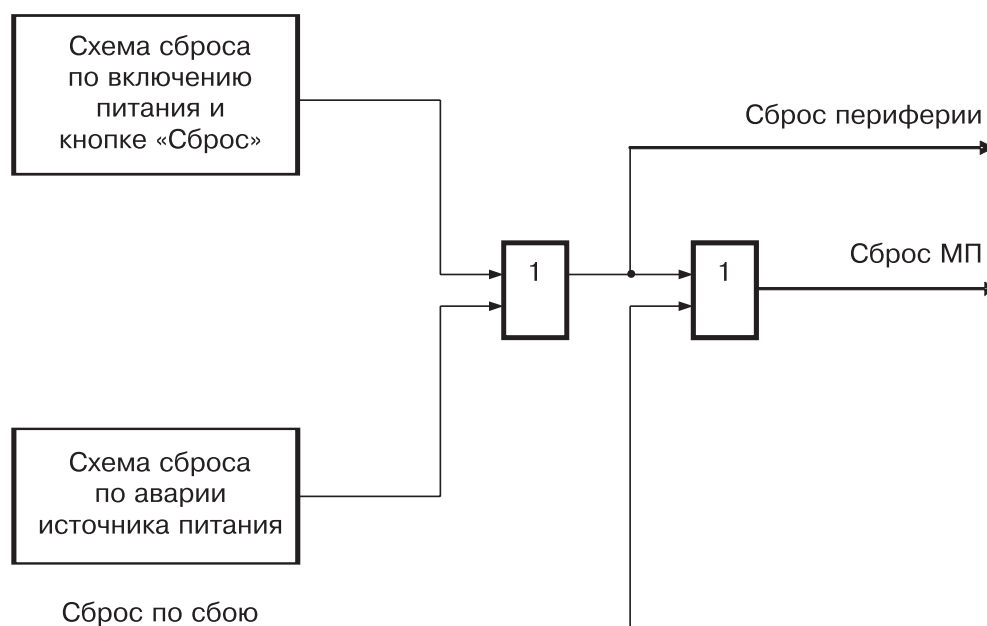


Рис. 3. Схема аппаратного сброса

аварийному завершению работы. Для снятия аварийных сигналов необходимо произвести перезагрузку МП УУ путем нажатия кнопки «Сброс» или выключением-включением питания.

Схема сброса, изображенная на рис. 3, предназначена для формирования отдельных сигналов сброса МП и периферийных устройств МП УУ.

Сигнал «Сброс МП» сбрасывает только микропроцессор КР580ВМ80А, а сигнал «Сброс периферии» – периферийные устройства ввода-вывода, к которым относятся в основном параллельные интерфейсы КР580ВВ55 и триггеры, хранящие состояние некоторых внутренних и внешних сигналов МП УУ.

В устройстве управления реализована стандартная схема сброса по включению питания и нажатию кнопки «Сброс», которая автоматически формирует сигнал сброса при включении питания и принудительно сбрасывает МП при нажатии кнопки «Сброс».

Стандартная схема сброса дополнена схемой сброса по аварии источника питания и сбросом по сбю. Схема сброса по аварии источника питания формирует сигнал сброса если напряжение питания +5 В выйдет за допустимые пределы и снизится до уровня +4,75 В. Сигнал «Сброс по сбю» аппаратно вырабатывается схемой обработки аварийных ситуаций при возник-

новении сбоя в системе управления лазером.

Таким образом, при включении питания, нажатии кнопки «Сброс» и аварии источника питания происходит одновременный сброс МП и периферийных устройств ввода-вывода. Состояние управления лазером полностью теряется и МП переходит в режим «Проверка».

При возникновении сбоя сбрасывается только МП. Это сделано для того чтобы сохранить состояние управляющих сигналов МП УУ и попытаться восстановить управление после сбоя. Так как при сбое периферийные устройства не сбрасываются, то их состояние, а, следовательно, и состояние управляемых ими исполнительных устройств лазера остается неизменным. Сохраняется и защита от записи в защищенную область ОЗУ, где хранится номер текущего выполняемого блока программы. После сброса МП по сбю, подпрограмма обработки аварийных ситуаций пытается восстановить управление и продолжить работу с последнего блока программы перед сбоем.

Из описанной выше схемы сброса МП УУ следует, что сброс МП может произойти по включению питания и нажатию кнопки «Сброс», по аварии источника питания и по сбю. Сразу после сброса специальная подпрограмма «Начало работы» выясняет причину, вызвавшую сброс устройства управления. Для правильной работы

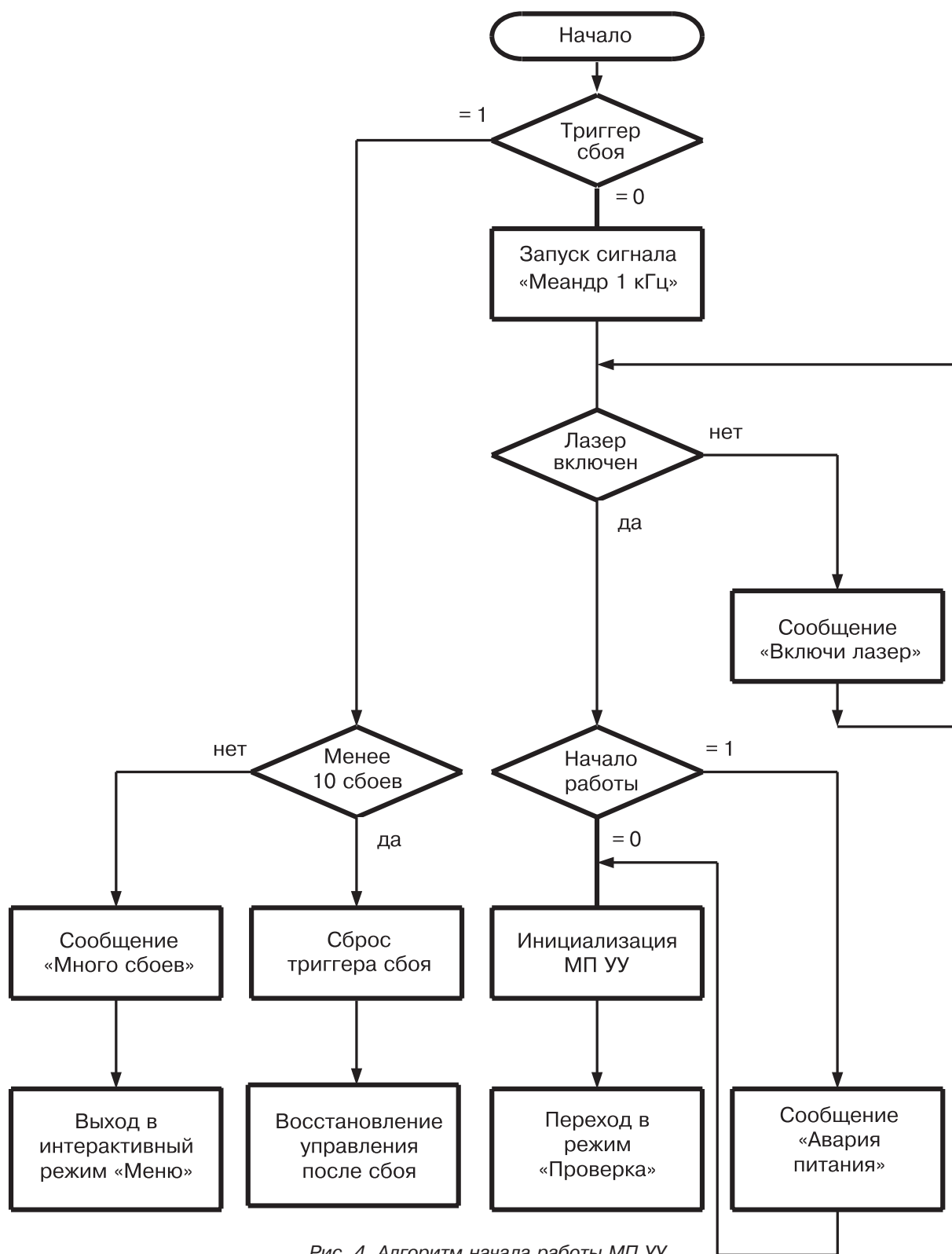


Рис. 4. Алгоритм начала работы МП УУ

этой подпрограммы необходимо соблюдать строгую последовательность включения пульта управления и технологического лазера. При работе в автоматическом режиме сначала включается питание пульта управления. После самотестирования оператору выдается сообщение «Включи ла-

зер». Только после этого можно подавать питание на технологический лазер. Алгоритм начала работы МП УУ приведен на рис. 4.

Сначала определяется состояние триггера сбоя. Если он установлен, то произошел сброс по сбою. Подпрограмма анализирует количество

сбоев. Если в процессе управления лазером количество сбоев стало равно десяти, то оператору выдается сообщение «МНОГО СБОЕВ, ВЫХОД ЧЕРЕЗ МЕНЮ», управление лазером в автоматическом режиме прекращается и МП УУ переходит в интерактивный режим «Меню».

Если количество сбоев менее десяти, то триггер сбоя сбрасывается, и подпрограмма обработки аварийных ситуаций пытается восстановить управление и продолжить работу с последнего блока программы перед сбоем.

Если сразу после сброса МП триггер сбоя не установлен, то запускается сигнал «Меандр 1 кГц» для определения состояния лазера. В начале работы, при соблюдении последовательности включения, технологический лазер выключен и оператору выдается сообщение «Включи лазер». После включения лазера МП УУ анализирует состояние сигнала «Начало работы». Этот сигнал устанавливается с небольшой задержкой после включения лазера. Если сразу же после включения лазера этот сигнал находится в состоянии «логическая 1», то это означает, что лазер был включен до включения пульта управления.

При правильной последовательности включения такая ситуация определяется как авария источника питания пульта управления. Оператору выдается сообщение «Авария питания», и МП УУ переходит к начальной инициализации, так как все периферийные устройства сброшены и состояние управления лазером потеряно.

Если сразу после включения лазера сигнал «Начало работы» находится в состоянии «логический 0», то такая ситуация интерпретируется как нормальное начало работы. МП УУ проводит начальную инициализацию периферийных устройств и приступает к управлению лазером, переходя в режим «Проверка».

Заключение

Предложенная методика диагностирования носит универсальный характер и может быть применена для автоматизации управления ЛТК с повышенными требованиями к надежности работы.

Аппаратно-программная реализация методики диагностирования позволяет повысить надежность работы ЛТК с несамостоятельным тлеющим разрядом, и не только своевременно выявить отказ в работе системы управления и аварийно выключить ЛТК, но и восстановить управление им в случае возникновения случайного сбоя в работе системы управления.

Список литературы

1. Боллард И.О. Проектирование сверхнадежных микропроцессорных систем // Электроника. 1979. Т. 52. № 1. С. 73–80.
2. Пархоменко П.П., Согомоян Е.С., Основы технической диагностики. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
3. Уильямс Г.Б., Отладка микропроцессорных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 253 с.
4. Контроль и исправление ошибок в много-разрядных устройствах памяти // Электроника. 1982. Т. 55. № 11. С. 52–74.
5. Балакин В.Н., Барашенков В.В., Усачев Ю.Е. Проектирование системы самодиагностирования управляющей микропроцессорной системы // Управляющие системы и машины. 1984. № 2. С. 39–43.
6. Гладштейн М.А., Комаров В.М., Шубин Н.А. Простой метод повышения надежности функционирования микропроцессорных систем управления // Приборы и системы управления. 1987. № 4. С. 5–6.
7. Горюнов Г. Микроконтроллеры NEC с повышенными требованиями к надежности // Электронные компоненты. 2005. №7. С. 67–70.