

УДК 62-83-52: 621.3

КП

№ госрегистрации 0105U009179

Инв. №

Министерство образования и науки Украины  
Сумский государственный университет  
(СумГУ)  
40007, г.Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2; тел. (0542) 33 34 58;  
факс 60 44 78

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
д-р физ.-мат. наук, проф.

А.Н.Черноус

2009.05.20

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
Объектно-ориентированные системы управления процессами  
движения технологических машин  
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО  
УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ  
(промежуточный)

Начальник НИЧ  
канд. техн. наук, доцент

В.А.Осипов

Руководитель НИР  
зав. кафедрой Компьютеризованных  
систем управления  
канд. техн. наук, доцент

В.Д.Червяков

2009

Этот отчет подготовлен как часть работы, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

## СПИСОК АВТОРОВ

Руководитель НИР зав. кафедрой Компьютеризованных систем управления канд. техн. наук, доцент	В.Д.Червяков (реферат, введение, выводы, рекомендации, разд. 1)
Ответственный исполнитель ст. преподаватель	А.А.Паныч (разд. 1, разд. 2)
Студент	А.И.Бережной (разд. 1)
Студент	А.М.Щекотов (разд. 2)
Студент	А.А.Доброжан (разд. 2)

## РЕФЕРАТ

Отчет о НИР (промежуточный): 35 с., 6 рис., 19 источников.

Объект исследования – методология концептуального проектирования и методы синтеза систем управления процессами движения рабочих органов технологических машин широкого применения.

Цель работы – повышение экономической эффективности систем управления несущими органами летучих пил возвратно-поступательного движения на этапах их разработки и эксплуатации.

Методы исследования – методы системного анализа, математическое моделирование.

Летучие механизмы имеют циклический режим работы, причем их рабочий цикл характеризуется большой ресурсоемкостью. Наибольшей ее составляющей является энергопотребление приводов несущих органов, с помощью которых формируются законы движения последних. В работе построен структурно-алгоритмический базис системы управления летучей пилой, который служит концептуальной основой разработки подалгоритмов и функциональной схемы, разработана объектно-ориентированная функциональная схема системы управления летучей пилой, что является завершающим этапом построения концептуального системотехнического базиса системы управления летучей пилой. Разработана математическая модель рабочего цикла летучей пилой в виде иерархической нераскрашенной сети Петри. Она позволяет отразить очередность и взаимную согласованность имеющих место событий и состояний, исследовать рабочий цикл летучей пилой, а также может служить основой для построения алгоритма управления

Полученные результаты в их совокупности позволяют снизить ресурсоемкость систем управления несущих органов летучих пил на этапах их проектирования и эксплуатации, а также могут применяться в системах автоматического управления электроприводами механизмов передвижения технологических машин и многих других.

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЛЕТУЧАЯ ПИЛА, СЕТЬ ПЕТРИ, ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ.**

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ .....	5
ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТУЧЕЙ ПИЛЫ.....	9
1.1 Структурно-алгоритмический базис системы управления .....	9
1.2 Функциональная схема системы управления.....	20
1.3 Выводы .....	24
2 СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ЛЕТУЧЕЙ ПИЛЫ.....	26
ВЫВОДЫ .....	33
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК.....	34

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

### Основные сокращения:

ЛП	– летучая пила
НО	– несущий орган
ОИ	– обрабатываемое изделие
СУ	– система управления
СУЛП	– система управления летучей пилой
ЭМС	– электромеханическая система

### Основные обозначения:

$\tau$	– время в относительных единицах
$\alpha$	– путь перемещения несущего органа в относительных единицах
$\dot{\nu}$	– ускорение несущего органа в относительных единицах
$\dot{\mu}_{\text{зад}}$	– заданное значение рывка в приводе несущего органа в относительных единицах
$\mu_0$	– момент сопротивления в относительных единицах
$\Delta L_{\text{м}}$	– допустимое отклонение мерной длины отрезков профиля, м
$F_2$	– сила, действующая на несущий орган летучей пилы со стороны привода, Н
$F_{2\delta}$	– значение силы, соответствующее выборке зазоров (окончание первого этапа рабочего цикла летучей пилы), Н
$F_{2\text{нат}}$	– усилие взаимодействия несущего органа летучей пилы с обрабатываемым изделием (четвертый этап рабочего цикла), Н
$i$ и $\nu$	– ток якоря и скорость вращения вала двигателя привода несущего органа в относительных единицах

$I$ и $\Phi$	– ток якоря, А и магнитный поток, Вб двигателя привода несущего органа
$i_p$	– ток двигателя при разгоне несущего органа в относительных единицах
$l_0$	– значение координаты начального положения несущего органа летучей пилы (по окончании пятого этапа рабочего цикла), м
$l_1$	– координата положения опорной точки (плоскости) обрабатываемого изделия (текущая координата положения сечения реза), м
$l_2$	– координата положения опорной точки (плоскости) несущего органа, м
$L_m$	– заданная длина отрезков, на которые необходимо порезать профиль (мерная длина), м
$Q$	– суммарный расход электроэнергии в приводе несущего органа за время рабочего цикла (количество тепла, выделившееся в цепи якоря электродвигателя), Дж
$Q_i$	– расход электроэнергии в приводе несущего органа на $i$ -м этапе рабочего цикла, Дж
$t_1, t_2, t_3, t_4$ и $t_5$	– момент времени, соответствующий началу первого, второго, третьего, четвертого и пятого этапов рабочего цикла соответственно, с
$V_1$	– скорость движения обрабатываемого изделия (скорость движения профиля), м/с
$V_2$	– скорость движения несущего органа, м/с
$M_2$	– момент, развиваемый приводом несущего органа летучей пилы, Н·м

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях рыночной экономики конкурентная борьба за потребителей требует от производителей постоянного повышения качества продукции, максимального удовлетворения требований заказчиков. Объективная реальность, характеризуемая этими обстоятельствами, обуславливает актуальность научно-технической проблемы ресурсосбережения на всех этапах жизненного цикла технологических объектов [1, 2]. Системы управления технологических объектов в значительной мере определяют ресурсоемкость последних и качество выпускаемой продукции, поэтому непреходяще актуальными являются задачи совершенствования методологии разработки систем управления и методов синтеза последних, обеспечивающих минимизацию ресурсозатрат на таких этапах их жизненного цикла, как проектирование и эксплуатация. На первом из указанных этапов задача ресурсосбережения решается путем сокращения временных и финансовых затрат на разработку (проектирование) изделия, в нашем случае – систем управления технологическими объектами. На этапе эксплуатации ресурсосбережение рассматривается в аспектах минимизации энергозатрат в процессе функционирования автоматизированного технологического объекта, минимизации потерь от выпуска некондиционной продукции и возникновения аварийных ситуаций. Особую актуальность проблема ресурсосбережения имеет по отношению к технологическим объектам широкого применения, образующим классы с большим количеством экземпляров).

В [3] выбран **объект исследования** "Методология концептуального проектирования и методы синтеза систем управления процессами движения рабочих органов технологических машин широкого применения", рассмотрен один из видов технологических объектов широкого применения – несущие органы летучих пил, относящихся к классу летучих механизмов [4], и определены **цели** работы, заключающиеся в повышении экономической эффективности систем управления несущими органами летучих пил возвратно-поступательного движения на этапах их разработки и эксплуатации.

Летучие механизмы имеют циклический режим работы, причем их рабочий цикл характеризуется большой ресурсоемкостью. Наибольшей ее составляющей является энергопотребление приводов несущих органов, с помощью которых формируются законы движения последних. Снижение энергоемкости приводов технологических машин циклического действия является актуальной задачей. Второй составляющей ресурсоемкости являются потери от выпуска некондиционной продукции и возникновения аварийных ситуаций (например, при поломках конструктивных элементов технологической машины). Перечисленные составляющие ресурсоемкости летучих механизмов имеют место на одном из этапов их жизненного цикла, а именно – во время эксплуатации. В свете сказанного закономерно актуальной является научно-техническая проблема снижения ресурсоемкости приводов несущих органов летучих механизмов на данном этапе. Указанная проблема решается путем совершенствования процессов управления рабочими органами летучих механизмов и улучшения за счет этого экономических показателей их функционирования.

В соответствии с выбранным предметом исследования общей **задачей работы** определена разработка метода синтеза объектно-ориентированной системы управления несущим органом летучей пилы, методов и алгоритмов ресурсосберегающего управления процессами его движения [3].

Одной из частных задач исследования является концептуальная разработка объектно-ориентированной системы управления приводом несущего органа летучей пилы. Результатом решения этой задачи должны быть структурная схема объектно-ориентированной системы управления летучей пилой и общий алгоритм ее функционирования, которые в совокупности образуют структурно-алгоритмический базис системы управления летучей пилой, на основе которых с учетом результатов сигнального анализа строится объектно-ориентированная функциональная схема системы управления летучей пилой. Решению этой задачи посвящен данный этап работы.



# 1 КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТУЧЕЙ ПИЛЫ

В данном разделе на основе предложенных объектных моделей и результатов ситуационного анализа [3] разрабатывается структурная схема объектно-ориентированной системы управления летучей пилой и строится общий алгоритм ее функционирования, которые в совокупности образуют структурно-алгоритмический базис системы управления летучей пилой (СУЛП). На его основе с учетом результатов сигнального анализа строится объектно-ориентированная функциональная схема СУЛП.

## 1.1 Структурно-алгоритмический базис системы управления

1.1.1. Структурная схема объектно-ориентированной системы управления. Представленные в [3] материалы позволяют перейти к концептуальному проектированию СУЛП, в частности, к созданию ее структурно-алгоритмического базиса [2].

Предлагаемая структурная схема СУЛП, иллюстрирующая организацию информационного обмена между системами управления разных уровней иерархии при реализации мерного пореза ОИ с помощью ЛП, представлена на рис.1.1. Не нарушая общности, в качестве технологической линии производства длинномерного материала будем рассматривать профилегибочную линию, служащую для изготовления мелкосортных алюминиевых профилей. СУЛП содержит пять укрупненных функциональных блоков: систему управления профилегибочной линией (СУПЛ), систему управления мерным порезом (СУМП), пульт управления (ПУ), комплекс локальных систем управления приводами НО и ИМ, набор информационных устройств (ИУ). Здесь можно выделить три уровня – СУПЛ, СУМП и ЛСУ приводами НО и ИМ.

В состав систем нижнего уровня входят следующие ЛСУ приводами ИМ: перемещения НО (1), МВ (2), МП (3) и МС (4). Наиболее сложной в

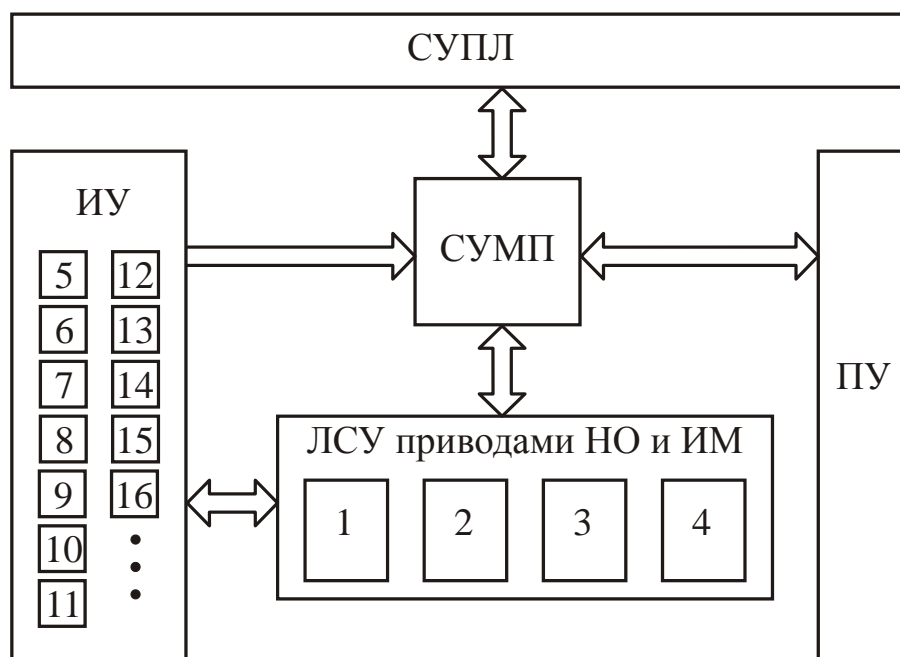


Рисунок 1.1 – Структурная схема системы управления летучей пилой

функциональном отношении является система управления приводом перемещения НО, что следует из технологических требований к его движению. Системы управления приводами МВ, МС и МП, как правило, высокой сложностью не отличаются [3].

Условно показанные в виде отдельного блока информационные устройства (датчики) могут физически находиться как в составе отдельных систем (например, ЛСУ), так и быть обособленно установленными на линии – важно их наличие для получения и выдачи соответствующими блоками потребной информации (различные технологические, силомоментные, скоростные и пространственные параметры). На рис.1.1 показаны датчики (сигнализаторы): положений НО, соответствующих минимальной (5) и максимальной (8) координатам, ограничивающим зону допустимых положений НО, началу (6) и концу (7) зоны обработки; скорости движения и пути перемещения сечения реза на профиле (9 и 10); скорости движения и пути перемещения НО (11 и 12); исходного положения режущего инструмента (13); зажима профиля (14); вращения режущего инструмента (15); наличия профиля, подлежащего порезу (16). Возможно также наличие

информационных устройств иного назначения, в дополнение к перечисленным выше (в частности, в составе ЛСУ).

Функциональное назначение СУМП (в объектной модели рис.2.7 ей соответствует класс Управляющее устройство) состоит в управлении НО и координации движений всех ИМ ЛП и движущегося профиля для выполнения операций мерного пореза с требуемой точностью без возникновения аварийных ситуаций. Эта общая функция может быть детализирована следующим образом. СУМП получает из ПУ информацию о заданном значении мерной длины и виде режима работы ("Ввод начальных условий" – далее "Ввод НУ", "Автоматическая работа" – далее "Автомат", "Ожидание"). Задатчик мерной длины конструктивно размещен на ПУ, но в то же время он относится и к числу информационных устройств. От других информационных устройств СУМП получает информацию о текущем состоянии и значениях координат движения ИМ ЛП и их приводов, а также о скорости движения и положении профиля. СУПЛ также обменивается сигналами с СУМП, в частности, о готовности к работе. Получаемую информацию СУМП перерабатывает по определенному алгоритму и формирует сигналы управления командного уровня, передаваемые в ЛСУ приводами ИМ ЛП. Кроме того, СУМП производит расчет необходимых технико-экономических показателей (количество произведенных резов, фактическая мерная длина и т.п.) и контроль работоспособности ЛСУ (по поступающим от них диагностическим сигналам) с автоматическим переводом системы в режим "Ожидание" в случае их обнаружения.

Возвращаясь к характеристике ЛСУ, заметим, что системы 2, 3 и 4 выполняют простейшие функции пуска, реверса и останова приводов. Эти функции реализуются широко известными несложными типовыми схемами логического управления. Командное управление этими системами СУМП осуществляет путем выдачи на их входы соответствующих дискретных сигналов. Наиболее сложной является задача командного управления автоматизированным электроприводом механизма перемещения НО (1). Этот электропривод целесообразно выполнить в виде системы автоматического регулирования скорости вращения электродвигателя с возможностью перехода в режим автоматического регулирования

электромагнитного момента, развиваемого двигателем. Такая возможность легко реализуется в предложенной нами двухконтурной системе подчиненного регулирования электропривода путем выведения из работы контура регулирования скорости и перевода системы в режим регулирования момента с заданием последнего от задатчика момента [6]. Функции последнего и подачу команды на изменение режима работы электропривода может выполнить СУМП. СУПЛ координирует работу ЛП, профилегибочного стана и других агрегатов, входящих в состав ПЛ.

ЛП, представляющая из себя достаточно сложный объект, требует контроля со стороны человека-оператора, для чего служит ПУ. Оператора ЛП тоже отнесем к системе управления верхнего уровня наравне с СУПЛ, хотя принимая свои решения, он руководствуется командами последней. Оператор контролирует ЛП посредством органов ручного управления (кнопок и переключателей) и средств отображения информации (измерительных приборов, буквенно-цифровых индикаторов и т.п.). Средства ПУ позволяют оператору установить режим работы и задание мерной длины (путем набора ее числового значения в задатчике мерной длины); отобразить технико-экономическую информацию и результаты контроля, поступающие от СУМП; осуществлять ручное управление приводами ИМ ЛП в режимах "Ввод НУ" и "Ожидание". Задание мерной длины может также поступать в СУМП по линии связи от СУПЛ. Дальнейшую детализацию функций СУМП, особенно разграничение ролей между ней и ЛСУ привода перемещения НО, целесообразно произвести после разработки алгоритма работы СУМП.

Рассмотренная организационно-функциональная структура управления летучей пилой обладает двумя существенными признаками объектно-ориентированных систем: универсальностью (в смысле применимости к любым ЛП) и минимальным набором структурных блоков (СУПЛ, ИУ, ЛСУ приводами НО и ИМ, СУМП и ПУ). Более того, нетрудно усмотреть универсальность данной структуры в применении к рабочим машинам любого технологического назначения и даже независимость ее от уровня автоматизации (компьютеризации). Требование структурной минимизации обеспечивается тем, что функции схемы

электроавтоматики (считающейся обязательным элементом систем управления технологическим оборудованием), традиционно реализуемой на базе релейно-контактной схемотехники, передаются блоку СУМП и реализуются программно при выполнении последнего на базе программируемого контроллера. При этом минимизируются функции ПУ и его элементный состав за счет исключения функций схемы электроавтоматики. Требование универсальности обеспечивается гибкостью алгоритма работы СУЛП, оболочка которого рассчитана на применение к классообразующей модельной ЛП.

3.1.2. Общий алгоритм работы системы управления. Идеологическими принципами алгоритма работы СУЛП являются: ветвление процесса в зависимости от заданного (оператором) режима работы ЛП, ситуационный анализ технологического процесса, прогнозирование переходов к очередным этапам рабочего цикла, расчет технологических, силовомоментных и пространственных параметров, формирование команд управления приводами ИМ ЛП. Техническая реализация СУМП может быть осуществлена на базе программируемого контроллера с достаточно высоким быстродействием.

Оболочка алгоритма работы СУЛП, или общий алгоритм работы СУЛП, определяет объектную ориентированность последней. Общий алгоритм, очевидно, должен оставаться неизменным при адаптации объектно-ориентированной СУЛП к конкретным приложениям. Общий алгоритм, и тем более его подалгоритмы формируют определенные требования к функциональным свойствам всех взаимодействующих с СУЛП по информационным каналам структурных элементов схемы рис.1.1.

При разработке объектно-ориентированных систем с использованием UML для представления особенностей алгоритмической и логической реализаций выполняемых системой операций используются диаграммы деятельности [7-9]. Графически диаграмма деятельности представляется в форме графа деятельности, вершинами которого являются состояния действия, а дугами – переходы от одного состояния действия к другому. Диаграммы деятельности аналогичны традиционным

блок-схемам алгоритмов, однако они лишены одного из их наибольших недостатков, который заключается в невозможности наглядного отображения параллельных процессов. Для отображения таких процессов в диаграммах деятельности используются средства, аналогичные переходам в сетях Петри [10, 11].

Диаграмма деятельности, соответствующая общему алгоритму работы СУЛП, представлена на рис.1.2. При ее составлении принято, что системе в любой момент времени известны значения переменных, которые поставляются информационными устройствами (в реальных контроллерах это условие выполняется путем периодического обновления данных в памяти). Диаграмма рис.1.2 легко может быть преобразована в блок-схему общего алгоритма работы СУЛП, который представлен на рис.1.3. Ниже приводится краткое описание работы этого алгоритма.

После включения системы оператор запускает программу. В начале алгоритма реализуется режим "Ожидание". Он включает в себя проверку (блок 1) готовности системы к работе (отсутствие неисправностей и решение оператора) и проверку решения оператора о выводе системы из работы (блок 2). Как видно из алгоритма, данный режим реализуется по умолчанию (как в самом начале работы, так и после окончания других режимов) и выход из него при положительном результате диагностики происходит по решению оператора. В течение данного режима возможно выполнение ремонтно-наладочных работ. Далее, в случае подтверждения готовности системы, распознается заданный оператором режим работы ЛП (блок 3) и система переходит на соответствующую ветвь алгоритма.

В режиме "Автомат" (блок 5) СУЛП исполняет алгоритм автоматического мерного пореза после запуска профилегибочной линии на рабочую скорость. При этом ЛП работает в циклическом режиме, описанном в [3]. В режиме "Ввод НУ" (блок 4) оператор с помощью органов ручного управления, имеющихся на ПУ, осуществляет командное управление приводами ИМ ЛП, производя отрезание переднего конца профиля. При этом СУЛП передает команды оператора на ЛСУ и осуществляет процесс сбора и обработки информации. Варианты организации этого режима могут быть разные, однако в любом случае по его завершении становятся известными расположение начала координат на траектории движения НО,

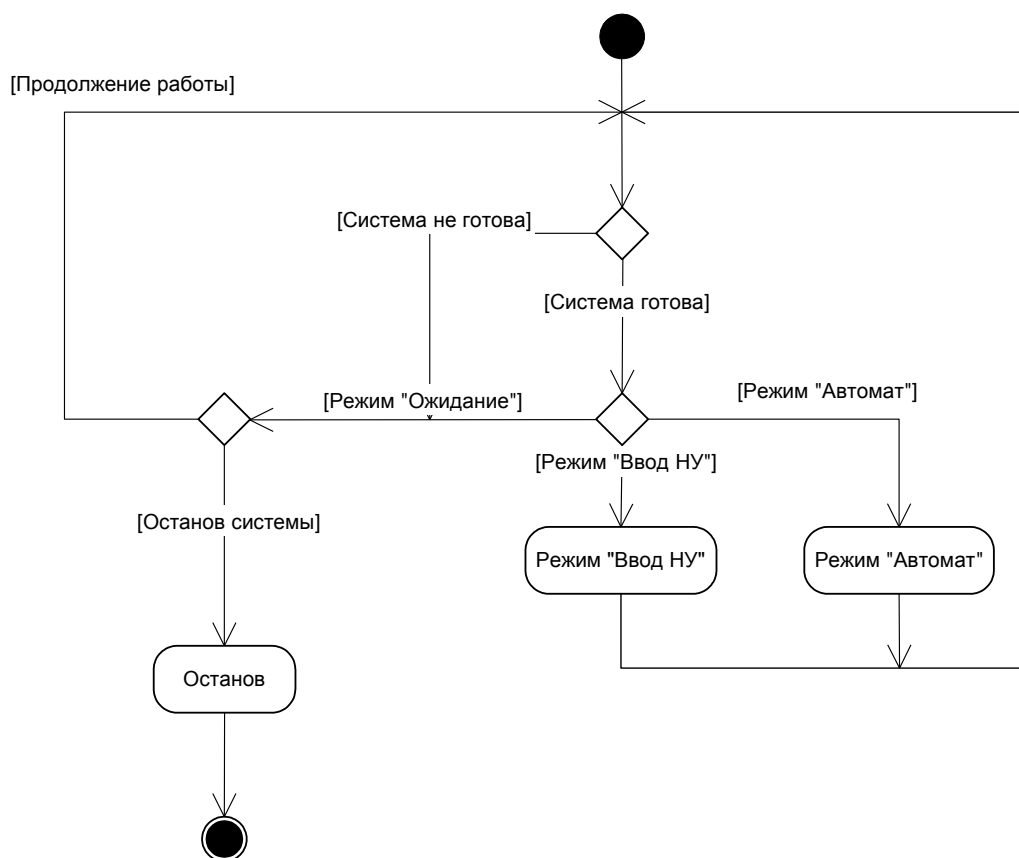


Рисунок 1.2 – Диаграмма деятельности общего алгоритма работы системы управления летучей пилой

расположение сечения предыдущего реза в зоне обработки и расположение сечения очередного реза на профиле.

Из режимов "Автомат" и "Ввод НУ" возможны два варианта выхода – нормальный и аварийный. Для обнаружения неисправностей система производит постоянную диагностику самой СУЛП и ее окружения параллельно с исполнением алгоритма. При обнаружении неисправностей или по решению оператора производится аварийный выход из подалгоритмов 4 или 5 в режим "Ожидание" или на исполнение процедуры 6 (на рис.1.3 не показано). При выводе СУЛП из работы выполняются процедура выхода из программы (блок 6), после чего система выключается.

Опишем подробнее блоки 1, 2 и 3, уточнив проверяемые в них условия. Проверка готовности системы к работе подразумевает наличие диагностических

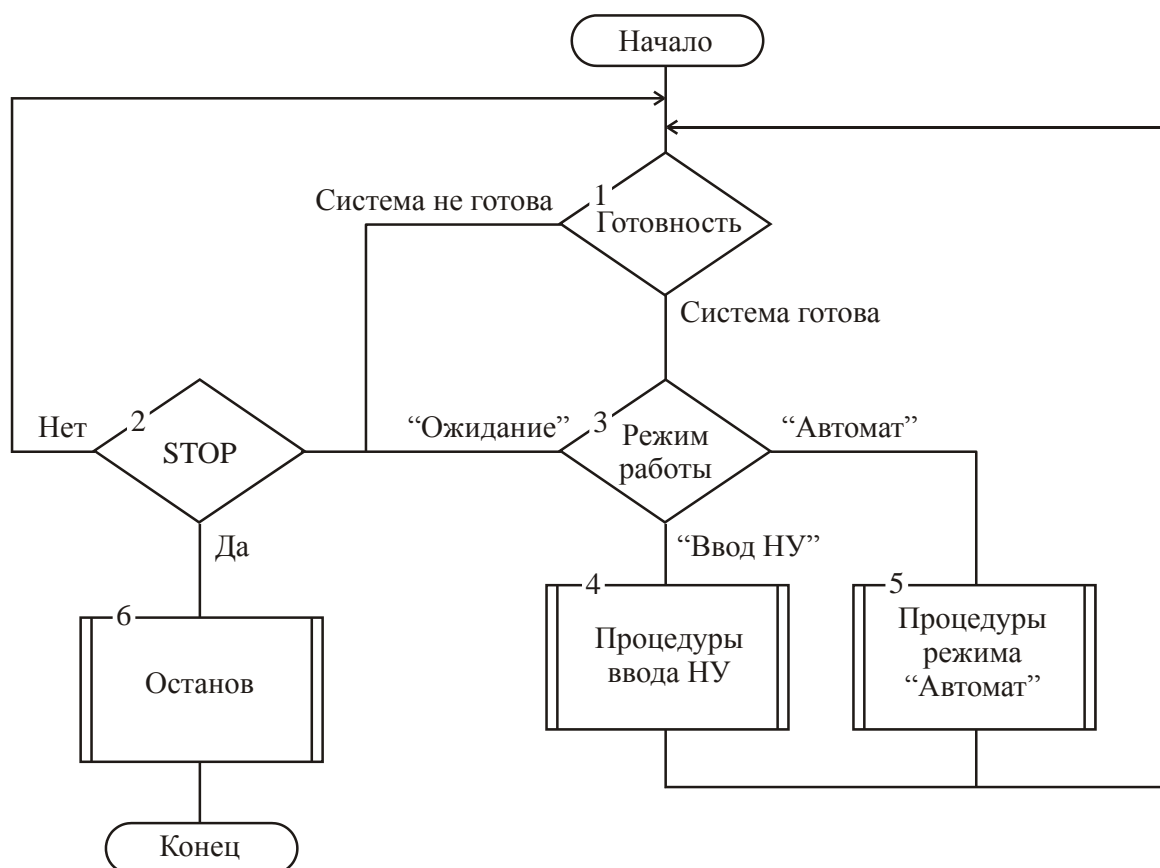


Рисунок 1.3 – Блок-схема общего алгоритма работы системы управления летучей пилой

сигналов, поступающих в СУМП из ЛСУ, а также логической переменной, информирующей об исправности самой СУМП. Оператору может понадобиться также информация о готовности СУПЛ, для чего следует предусмотреть соответствующий сигнал (для СУПЛ, очевидно, также потребуется сигнал о готовности СУЛП к работе). Обозначим сигналы об исправности ЛСУ как  $z_1, z_2, z_3, z_4$ . Индексы отвечают номерам соответствующих ЛСУ на структурной схеме рис.1.1. Такие же обозначения примем и для логических переменных, циркулирующих в СУМП. Единичным значениям переменных  $z_1, \dots, z_4$  будет соответствовать исправное состояние соответствующей ЛСУ. Для промежуточных выкладок введем еще одну переменную –  $z_{\text{ЛСУ}}$ , единичное значение которой соответствует исправности всех ЛСУ. Тогда

$$z_{\text{ЛСУ}} = z_1 \& z_2 \& z_3 \& z_4. \quad (1.1)$$



Исправности СУМП поставим в соответствие единичное значение логической переменной  $z_{\text{СУМП}}$ . Об отрицательном результате автоматической диагностики неисправностей СУЛП, т.е. об ее исправности, будет свидетельствовать единичное значение логической переменной  $z_{11}$ . Очевидно, что

$$z_{11} = z_{\text{ЛСУ}} \& z_{\text{СУМП}} = (z_1 \& z_2 \& z_3 \& z_4) \& z_{\text{СУМП}}. \quad (1.2)$$

Так как ЛП является достаточно сложным объектом, причем работающим в присутствии человека, что накладывает дополнительные требования в части обеспечения безопасности функционирования, то мы можем считать автоматическую диагностику необходимым, но не достаточным условием для разрешения работы ЛП. Необходимо доверить человеку-оператору право принятия окончательного решения о готовности ЛП к работе. При принятии данного решения он может руководствоваться очень многими факторами, в частности – состоянием опасных зон (вопросы охраны труда), различными подозрительными ощущениями (соответствующими необнаруженным неисправностям и т.п.) и др. Очевидно, при прочих равных условиях, качество контроля зависит от опыта оператора. Мы можем назначить определенную логическую переменную, принимающую единичное значение при положительном решении оператора о готовности ЛП к работе и добавить ее как дополнительный множитель в выражение для  $z_{11}$ . Однако, как видно из алгоритма (рис.1.3), выбирая режим работы ЛП, оператор, таким образом, выражает свое решение о готовности системы к работе. Решению оператора о неготовности системы будет соответствовать режим "Ожидание", а решению о готовности – режимы "Ввод НУ" или "Автомат". Однако, в данном случае становятся вероятными самопроизвольные пуски системы при нахождении переключателя режимов в одном из двух указанных положений сразу после включения СУМП. Для исключения таких ситуаций можно предусмотреть, например, программное вхождение СУЛП в режим "Ожидание" сразу после включения, независимо от положения переключателя режимов на ПУ, с дальнейшим переходом в другой режим только через переключение оператором в режим "Ожидание". Вариант с введением отдельного сигнала о решении оператора,

благодаря своей избыточности (дублированию) имеет как недостатки – в части необходимости наличия дополнительной кнопки, привлечения внимания оператора и т.п., так и преимущества, заключающиеся в подтверждении решения. Заметим также, что при решении принять данный вариант следует обратить внимание на разработку подалгоритмов 4 и 5 в части исключения необходимости часто подтверждать готовность системы при прохождении через блок 1. Мы же остановимся на варианте с косвенным подтверждением оператором готовности без выделения для этого специального сигнала. Итак, мы получили полноценный набор логических переменных, позволяющий определить состояние готовности ЛП к работе, и окончательно имеем (3.2). Единичное значение переменной  $z_{11}$  соответствует состоянию "Система готова", нулевое – "Система не готова" (см. рис.1.3).

Решив вывести СУЛП из работы, оператор нажимает на ПУ кнопку "STOP", что приводит к подаче соответствующего сигнала. Сигнал на останов ЛП также может поступить и от СУПЛ (например, при аварийном останове всей ПЛ). Обозначим сигнал об останове, поступающий из ПУ,  $STOP1$ , а поступающий из СУПЛ –  $STOP2$ . Так же обозначим и соответствующие им логические переменные, единичные значения которых будут соответствовать заданию на останов ЛП. Тогда единичное значение переменной  $STOP$ , получаемой согласно уравнению

$$STOP = STOP1 \vee STOP2, \quad (1.3)$$

соответствует заданию на останов ЛП ("Да" на рис.1.3), а нулевое соответствует продолжению работы ЛП ("Нет" на рис.1.3).

Оператор выбирает требуемый режим работы ЛП путем установки в определенное положение соответствующего переключателя, расположенного на ПУ. При этом в СУМП поступают три сигнала, информирующих о разрешении оператором одного из трех режимов и одновременном запрещении остальных двух. Такой вариант организации связи СУМП с ПУ можно рассматривать как один из возможных. Вероятны и другие варианты. Например, возможна передача номера выбранного режима посредством двух параллельных сигналов. Такой вариант

предпочтительнее с точки зрения наличия двух, а не трех потребных для передачи носителей сигналов. Однако, здесь сложнее кодирование/декодирование, а также данный способ (код) не защищен от помех. В связи с большой значимостью передаваемой информации, требование помехозащищенности в данном случае является достаточно важным. Предложенный первоначально вариант из трех сигналов позволяет, как минимум, обнаружить одну ошибку путем несложных проверок в СУМП, одновременно исключая кодирование в ПУ. Обозначим сигналы, несущие в СУМП информацию о выбранном оператором ПУ режиме, как  $Md1$ ,  $Md2$ ,  $Md3$ . Сигнал  $Md1$  соответствует режиму "Ожидание",  $Md2$  – "Ввод НУ",  $Md3$  – "Автомат". Им будут отвечать логические переменные, имеющие единичные значения при выборе соответствующего режима. Обозначения переменных примем сходными с обозначениями сигналов. Для идентификации ошибочных сигналов можно использовать то обстоятельство, что при функционировании СУЛП возможны только такие состояния, когда обязательно выбран какой-либо режим, причем только один. Таким образом, в любой момент времени (за исключением, может быть, переключений режимов на ПУ) одна из логических переменных, соответствующих сигналам  $Md1$ ,  $Md2$  и  $Md3$ , имеет значение логической 1, а остальные – 0. Признаком данного состояния будет одновременное выполнение равенств

$$\begin{cases} Md1 \& Md2 = 0; \\ Md1 \& Md3 = 0; \\ Md2 \& Md3 = 0; \\ Md1 \vee Md2 \vee Md3 = 0. \end{cases} \quad (1.4)$$

Их следует использовать при проверке правильности принятия из ПУ сигналов, информирующих о выбранном оператором режиме работы ЛП. Обнаруженную ошибку можно считать сбоем в СУМП и установить соответствующую переменную  $z_{\text{СУМП}}$  в 0, что приведет к переходу СУЛП в режим "Ожидание". Как другой, более мягкий вариант обработки данной ошибки, мы можем применить переход в режим "Ожидание" через программное задание данного режима, установив значения

переменных  $Md1=1$ ,  $Md2=Md3=0$  при невыполнении условия (1.4). Остановимся на данном варианте, т.к. результаты диагностики будут использоваться и при аварийном выходе из режимов, что в данном случае будет неадекватным реагированием на сложившуюся ситуацию.

Структурная схема (рис.1.1) и общий алгоритм работы СУЛП (рис.1.3) могут рассматриваться как структурно-алгоритмический базис СУЛП, служащий концептуальной основой разработки подалгоритмов и функциональной схемы системы управления [12] как очередных этапов объектного проектирования. Основываясь на данном базисе, мы можем сформировать требования к сопряженным с СУЛП устройствам. В частности, ЛСУ должны подавать диагностические сигналы о неисправностях; ПУ должен иметь в своем составе органы установки режимов, набора мерной длины (клавиатуру или набор декадных переключателей), индикаторы выбранных режимов и неисправностей, кнопку "STOP" и др.

## 1.2 Функциональная схема системы управления

Предлагаемая функциональная схема СУЛП [13] представлена на рис.1.4. Сигналы, потребляемые и вырабатываемые СУМП, сведены в таблицы 1.1 и 1.2 соответственно. В таблицах, кроме самих сигналов, указаны форма представления сигнала (А – аналоговый, Д – дискретный, И – импульсный и К – кодовый), источник для входного и приемник для выходного, а также передаваемая информация. Функциональная схема СУЛП имеет сходную с приведенной на рис.1.1 структурной схемой нумерацию соответствующих элементов (ИУ, ЛСУ приводами НО и ИМ). Заметим, что конструкция путевых выключателей 5, 6, 7 и 8 должна быть такой, чтобы при максимальной скорости движения НО продолжительность включенного состояния была достаточной для восприятия его СУМП.

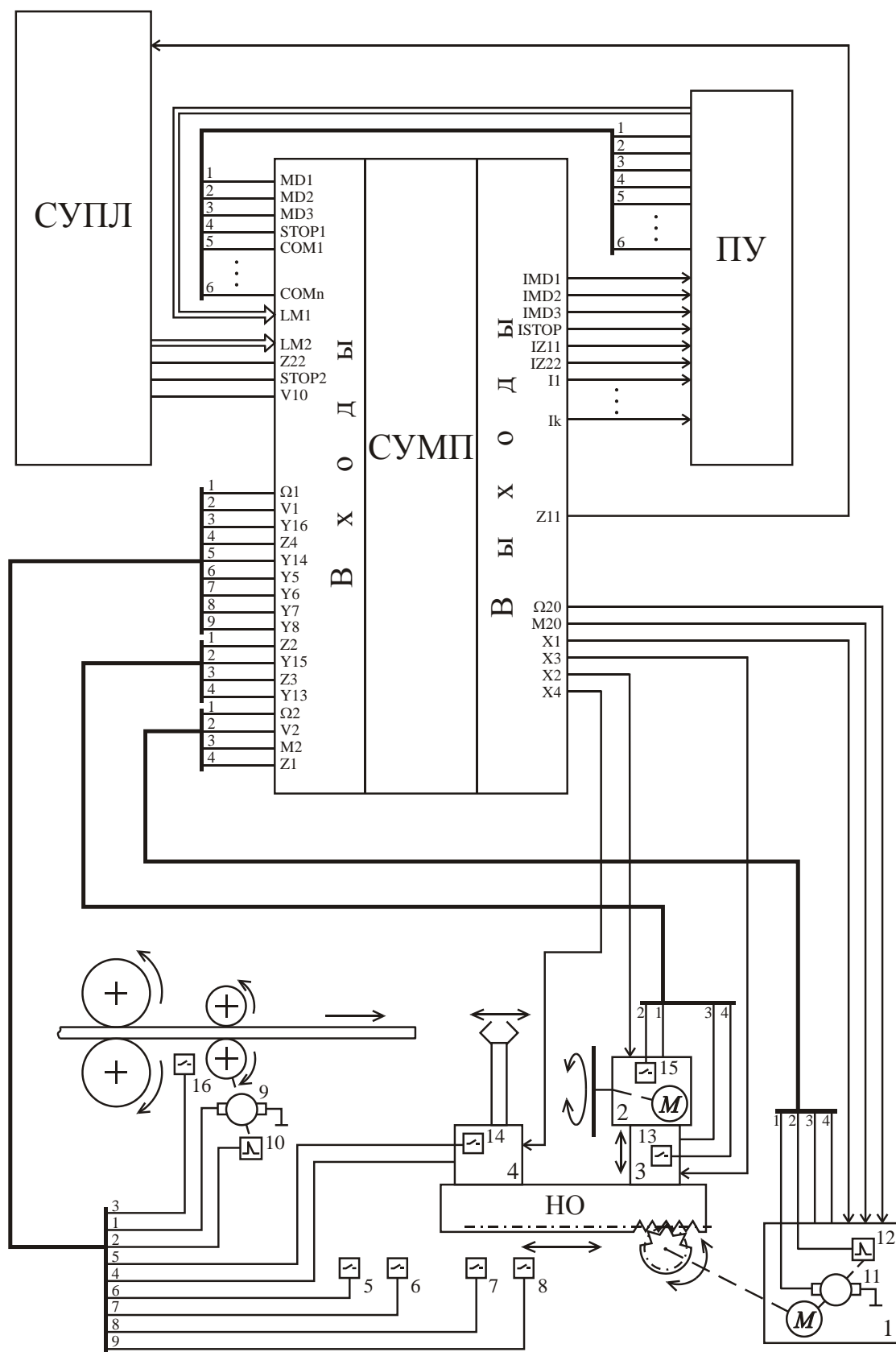


Рисунок 1.4 – Функциональная схема системы управления летучей пилой

Таблица 1.1 – Сигналы, потребляемые СУМП

Сигнал	Форма	Источн.	Передаваемая информация
LM1	К	ПУ	Задание мерной длины (оператором ЛП)
LM2	К	СУПЛ	Задание мерной длины (оператором ПЛ)
M2	А	1	Момент, развиваемый электроприводом НО
MD1	Д	ПУ	Задание режима "Ожидание"
MD2	Д	ПУ	Задание режима "Ввод НУ"
MD3	Д	ПУ	Задание режима "Автомат"
STOP1	Д	ПУ	Задание на аварийный останов ЛП
COM1 ... COMn	Д	ПУ	Прочие командные сигналы с пульта управления (в режиме "Ввод НУ" и др.)
STOP2	Д	СУПЛ	Задание на аварийный останов ЛП
V1	И	10	Скорость профиля (для получения перемещения профиля)
V10	А (К)	СУПЛ	Заданное значение скорости профилирования (профиля)
V2	И	12	Скорость электропривода НО (для получения перемещения НО)
Ω1	А	9	Скорость профиля
Ω2	А	11	Скорость электропривода НО
Y13	Д	13	Исходное положение привода МП
Y14	Д	14	Сжатое состояние МС
Y15	Д	15	Включенное состояние привода МВ
Y16	Д	16	Наличие профиля перед следящими роликами
Y5	Д	5	Достижение НО положений, соответствующих: минимальной допустимой координате; началу зоны обработки; концу зоны обработки; максимальной допустимой координате
Y6	Д	6	
Y7	Д	7	
Y8	Д	8	
Z1	Д	1	Исправность: электропривода перемещения НО; привода МВ; привода МП; привода МС
Z2	Д	2	
Z3	Д	3	
Z4	Д	4	
Z22	Д	СУПЛ	Готовность СУПЛ (к переходу в режим "Автомат")

Таблица 1.2 – Сигналы, вырабатываемые СУМП

Сигнал	Форма	Приемн.	Передаваемая информация
IMD1	Д	ПУ	Сигнал индикации режима "Ожидание"
IMD2	Д	ПУ	Сигнал индикации режима "Ввод НУ"
IMD3	Д	ПУ	Сигнал индикации режима "Автомат"
ISTOP	Д	ПУ	Сигнал индикации аварийного останова
IZ11	Д	ПУ	Сигнал индикации неготовности ЛП
IZ22	Д	ПУ	Сигнал индикации неготовности ПЛ
I1 ... Ik	Д	ПУ	Прочие сигналы индикации (состояния приводов ИМ при ручном управлении в режиме "Ввод НУ", технико-экономическая информация и др.)
M20	А	1	Задание момента электропривода НО
$\Omega$ 20	А	1	Задание скорости электропривода НО
X1	Д	1	Задание режима работы привода НО (регулирование скорости или момента)
X2	Д	2	Задание на включение привода МВ
X3	И	3	Задание на разрезание профиля (включение и возврат привода МП)
X4	Д	4	Задание на включение привода МС
Z11	Д	СУПЛ	Готовность всех систем ЛП (включая СУМП)

На данном этапе разработки нам, очевидно, известен неполный набор сигналов, циркулирующих в системе, и в результате дальнейших разработок он может быть уточнен. Особенно это касается информационного обмена СУМП с ПУ и СУПЛ. Однако мы имеем представление о характере некоторых из них и можем выделить их в несколько групп, о чем свидетельствует показанная на рис.1.5 структурная схема ПУ.

Таким образом, разработав функциональную схему СУЛП (рис.1.4), мы получили для СУМП набор входных и выходных сигналов (таблицы 1.1 и 1.2), имеем наглядное представление о взаимосвязях в системе. Указанная функциональная схема посредством прямой связи с объектными моделями (через структурную схему СУЛП) приобретает все преимущества элементов разработки в рамках ООП. Построение концептуального системотехнического базиса системы можем считать законченным. Теперь мы можем переходить к дальнейшим этапам, в

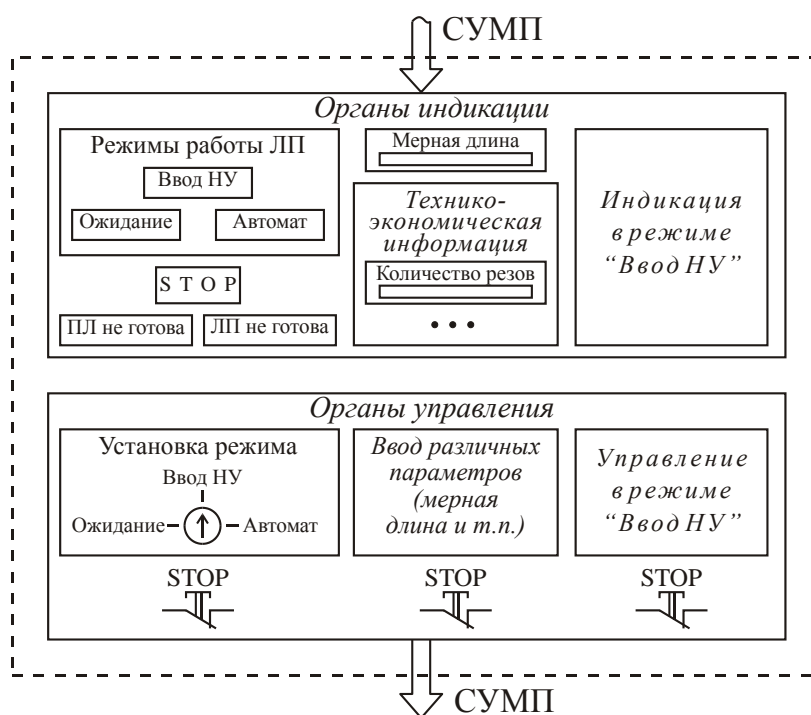


Рисунок 4.5 – Структурная схема пульта управления

частности, рассмотрению задач управления приводом НО и аспектов реализации СУЛП.

### 1.3 Выводы

В данном разделе нами рассмотрены вопросы концептуальной разработки объектно-ориентированной системы управления летучей пилой. По итогам проведенного исследования можем сделать следующие **выводы**.

1.3.1. Построена структурная схема системы управления летучей пилой. Она непосредственно связана с объектной моделью класса "Система управления летучей пилой", что позволяет считать ее объектно-ориентированной, отвечает требованию универсальности (в смысле применимости к любым ЛП) и имеет минимальный набор структурных блоков.

1.3.2. Составлен общий алгоритм работы системы управления летучей пилой в виде диаграммы деятельности, как стандартной для UML, и в виде традиционной блок-схемы алгоритма. В совокупности со структурной схемой общий алгоритм



работы СУЛП образует структурно-алгоритмический базис СУЛП, который служит концептуальной основой разработки подалгоритмов и функциональной схемы СУЛП.

1.3.3. Разработана функциональная схема системы управления летучей пилой, которая посредством прямой связи с объектными моделями (через структурную схему СУЛП) приобретает полезные свойства объектно-ориентированных артефактов. Особо следует подчеркнуть возможность эффективного использования ресурсов в процессе проектирования СУЛП и СУ других машин в пределах класса ЛМ. Созданием объектно-ориентированной функциональной схемы можно считать законченным процесс построения концептуального системотехнического базиса СУЛП. Наличие такого базиса позволяет перейти к дальнейшим этапам исследования, в частности, рассмотрению задач управления приводом НО и аспектов реализации СУЛП.

1.3.4. Поставленная задача исследования выполнена с соблюдением требований к результатам ее решения. Перечисленные в пп.1.3.1-1.3.3 результаты характеризуют научную новизну и практическую ценность проведенных в данном разделе исследований. Они опубликованы в научных статьях [5, 13, 14].

## 2 СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ЛЕТУЧЕЙ ПИЛЫ

Иерархическая нераскрашенная Сеть Петри [10-11], моделирующая работу ЛП, изображена на рис.2.1, а, ее дерево отношений – на рис.2.1, б. Все позиции (простые и дублеры) обозначены символами  $p$ , переходы – символами  $t$ .

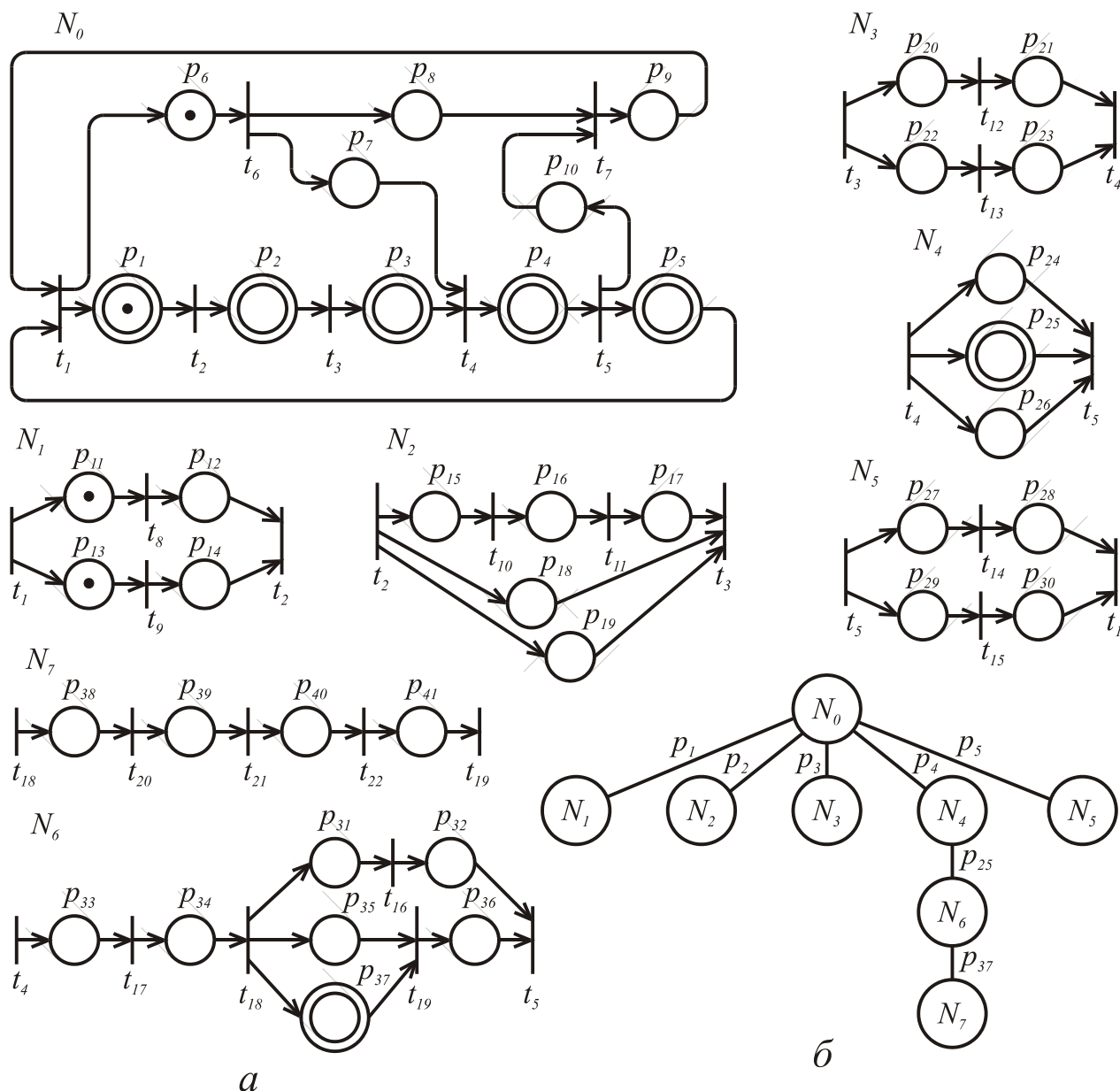


Рисунок 2.1 – Сеть Петри, моделирующая рабочий цикл летучей пилы (а)  
и ее дерево отношений (б)

Находящиеся в связке переходы обозначены одинаково. В таблице 2.1 представлено содержание переходов, в таблице 2.2 – содержание позиций. Обозначения

переменных в таблицах соответствуют описанным в [3]. Для упрощения модели принято, что режущий инструмент постоянно вращается (что в основном имеет место на существующих реальных объектах).

Позиции  $p_{18}$  и  $p_{19}$ ,  $p_{24}$  и  $p_{26}$ ,  $p_{35}$ , имея сходное содержание с аналогичными позициями  $p_{12}$  и  $p_{14}$ ,  $p_{21}$  и  $p_{23}$ ,  $p_{34}$ , служат для отображения состояния НО при выполнении соответствующих операций, хотя формально они являются условиями срабатывания переходов. Аналогичное назначение имеет позиция  $p_{32}$ . В отображении состояния других исполнительных механизмов в течении всего рабочего цикла нет необходимости, т.к. МВ всегда включен, а МС и МП приводятся в действие только на 4-м этапе рабочего цикла, находясь в остальное время в исходных состояниях.

Переходы и позиции представленной сетевой модели рабочего цикла классобразующей ЛП связаны с логическими переменными  $x_1, \dots, x_{19}$ . Указанное обстоятельство иллюстрируют таблицы 2.3 и 2.4. Здесь срабатыванию перехода или нахождению маркера в позиции соответствует единичное значение переменной, т.е. признак. Представленные переменные сохраняют единичные значения в течение некоторого времени, однако для таблицы 2.3 существенным является момент изменения их значений с 0 на 1. Указанное обстоятельство также отвечает допущению для сетей Петри о мгновенном срабатывании переходов. Отмеченное в таблице 2.4 косвенное соответствие признака  $x_{16}$  ( $l_{нзо} \leq l_2(t) \leq l_{но\ max}$ ) позиции  $p_7$  ( $l_{нзо} \leq l_1(t) \leq l_{но\ max}$ ) правомерно в связи с условиями срабатывания перехода  $t_4$ , т.к. при этом соблюдается равенство  $l_2(t) = l_1(t)$  (позиция  $p_{23}$ ). Переменная  $x_{17}$  постоянно имеет единичное значение, что является признаком вращения режущего инструмента, т.к. при составлении сети было принято, что МВ всегда включен.

Таблица 2.1 – Содержание переходов сетевой модели рабочего цикла ЛП

Переход	Содержание перехода
$t_1$	начало этапа 1
$t_2$	начало этапа 2
$t_3$	начало этапа 3
$t_4$	начало этапа 4
$t_5$	начало этапа 5
$t_6$	сечение реза вошло в допустимые пределы для начала обработки $l_1=l_{н30}$
$t_7$	"появление" нового (следующего) сечения реза $l_1=l_1-L_m$
$t_8$	окончание выборки люфтов $F_2=F_{2\delta}$
$t_9$	НО остановился $V_2=0$
$t_{10}$	закон движения рассчитан, время запуска определено
$t_{11}$	параметры закона движения выданы в ЛСУ привода НО
$t_{12}$	равенство скоростей достигнуто $V_2=V_1$
$t_{13}$	равенство положений достигнуто $l_2=l_1$
$t_{14}$	НО пришел в начальное положение $l_2=l_0$
$t_{15}$	НО остановился (в начальном положении) $V_2=0$
$t_{16}$	перевод привода НО в режим регулирования силы $F_2=F_{2нат}$
$t_{17}$	зажим профиля
$t_{18}$	переход к следующим операциям по обработке профиля
$t_{19}$	освобождение профиля
$t_{20}$	начало подачи режущего инструмента на рез
$t_{21}$	режущий инструмент достиг крайнего положения и начал возвращаться
$t_{22}$	режущий инструмент достиг исходного положения и остановился

Таблица 2.2 – Содержание позиций сетевой модели рабочего цикла ЛП

Позиция	Содержание позиции
$p_1$	составная операция, этап 1 – исходное состояние ЛП, подготовка к запуску НО
$p_2$	составная операция, этап 2 – формирование целеуказания, ожидание команды на запуск НО
$p_3$	составная операция, этап 3 – запуск НО, обработка приводом НО целеуказания на преследование и синхронизацию НО с сечением реза на профиле
$p_4$	составная операция, этап 4 – продолжение движения НО в направлении перемещения сечения реза, выполнение реза
$p_5$	составная операция, этап 5 – установка НО в начальное положение, переход ЛП в новое исходное состояние
$p_6$	сечение реза подходит к началу зоны обработки $l_1(t) < l_{\text{НЗО}}$
$p_7$	сечение реза движется в допустимых пределах для начала обработки $l_{\text{НЗО}} \leq l_1(t) \leq l_{\text{НО max}}$
$p_8$	дальнейшее движение сечения реза ( $l_1(t) = V_1 \cdot t$ )
$p_9$	движение следующего сечения реза ( $l_1(t) = V_1 \cdot t$ )
$p_{10}$	произведено отрезание части профиля длиной $L_M$
$p_{11}$	процесс выборки люфтов $F_2(t) < F_{2\delta}$
$p_{12}$	люфты выбраны $F_2(t) = F_{2\delta}$
$p_{13}$	скорость НО близка к нулю $V_2(t) \neq 0$
$p_{14}$	НО неподвижен $V_2(t) = 0$
$p_{15}$	расчет закона движения, определение времени запуска
$p_{16}$	выдача параметров закона движения в ЛСУ привода НО
$p_{17}$	ожидание момента времени наступления 3-го этапа цикла
$p_{18}$	люфты выбраны $F_2(t) = F_{2\delta}$
$p_{19}$	НО неподвижен $V_2(t) = 0$
$p_{20}$	НО преследует сечение реза $V_2(t) < V_1(t)$

Продолжение таблицы 2.2

Позиция	Содержание позиции
$p_{21}$	сохранение равенства скоростей $V_2(t)=V_1(t)$
$p_{22}$	НО преследует сечение реза $l_2(t)\neq l_1(t)$
$p_{23}$	сохранение равенства положений $l_2(t)=l_1(t)$
$p_{24}$	сохранение равенства скоростей $V_2(t)=V_1(t)$
$p_{25}$	<i>составная операция, обработка профиля (порез)</i>
$p_{26}$	сохранение равенства положений $l_2(t)=l_1(t)$
$p_{27}$	движение НО в начальное положение $l_2(t)\neq l_0$
$p_{28}$	НО находится в начальном положении $l_2(t)=l_0(t)$
$p_{29}$	движение НО в начальное положение $V_2(t)\neq 0$
$p_{30}$	НО неподвижен (в начальном положении) $V_2(t)=0$
$p_{31}$	разрешен перевод привода НО в режим регулирования силы $F_2$
$p_{32}$	привод НО в режиме регулирования силы $F_2(t)=F_{2\text{нат}}$
$p_{33}$	обработка профиля разрешена
$p_{34}$	профиль зажат
$p_{35}$	профиль зажат
$p_{36}$	обработка завершена (профиль освобожден)
$p_{37}$	<i>составная операция, разрезание профиля</i>
$p_{38}$	разрешение подачи режущего инструмента на рез
$p_{39}$	движение режущего инструмента на рез
$p_{40}$	возврат режущего инструмента
$p_{41}$	режущий инструмент находится в исходном положении

Таблица 2.3 – Связь переходов сетевой модели с логическими переменными

Переход	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
Признак	$x_{10}$	$x_6$	$x_7, x_{13}$	$x_8$	$x_9$

Таблица 2.4 – Связь позиций сетевой модели с логическими переменными

Позиция	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_{12},$ $p_{18}$	$p_{14}, p_{19},$ $p_{30}$	$p_{21},$ $p_{24}$	$p_{23},$ $p_{26}$	$p_7$ (косвенно)	<i>нет (МВ всегда вкл.)</i>	$p_{36}$	$p_{28}$
Признак	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$

Сетевая модель дает возможность отчетливо проследить смену ситуаций в течение рабочего цикла ЛП и соответствующую ей смену значений логических переменных. Так, мы можем видеть, что переменные наблюдения  $x_1 - x_5$  имеют единичные значения только в течение соответствующих этапов (позиции  $p_1 - p_5$ ). Переменные перехода  $x_6 - x_{10}$  согласно модели изменяют свои значения в зависимости от значений переменных ситуационного анализа  $x_{11} - x_{19}$  в соответствии с уравнениями, описанными в [3]. Данное обстоятельство наглядно отражено в модели (с учетом таблиц 2.3 и 2.4). В модели не представлены дополнительные переменные  $x_{20} - x_{24}$ , введенные в уравнения для учета возможных дополнительных условий формирования переменных перехода, которые могут появиться на последующих этапах разработки СУЛП, а также для адаптации СУЛП к конкретным приложениям. На данном этапе разработки СУЛП мы не можем оговорить законы их формирования и поэтому все дополнительные переменные из набора  $x_{20} - x_{24}$  приняты логическими константами со значением 1.

Представленная модель благодаря присущей ей наглядности и средствам аппарата сетей Петри позволяет графически отобразить и исследовать рабочий цикл ЛП, а также может служить основой для построения алгоритма управления [15] как летучими пилами, так и другими летучими механизмами. В частности, от данной

модели можно сразу перейти к составлению программы для промышленного контроллера на языке SFC (Sequential Function Chart), называемом также Grafset [16, 17]. Он является одним из пяти языков программирования, установленных стандартом Международной Электротехнической Комиссии IEC 61131-3 [18, 19].



## ВЫВОДЫ

В ходе решения поставленных задач построена структурная схема системы управления летучей пилой. Она непосредственно связана с объектной моделью класса "Система управления летучей пилой", что позволяет считать ее объектно-ориентированной, отвечает требованию универсальности (в смысле применимости к любому ЛП) и имеет минимальный набор структурных блоков. Составлен общий алгоритм работы системы управления летучей пилой в виде диаграммы деятельности, как стандартной для UML, и в виде традиционной блок-схемы алгоритма. В совокупности со структурной схемой общий алгоритм работы СУЛП образует структурно-алгоритмический базис СУЛП, который служит концептуальной основой разработки подалгоритмов и функциональной схемы СУЛП. Разработана функциональная схема системы управления летучей пилой, которая посредством прямой связи с объектными моделями (через структурную схему СУЛП) приобретает полезные свойства объектно-ориентированных артефактов. Особо следует подчеркнуть возможность эффективного использования ресурсов в процессе проектирования СУЛП и СУ других машин в пределах класса ЛМ. Созданием объектно-ориентированной функциональной схемы можно считать законченным процесс построения концептуального системотехнического базиса СУЛП. Наличие такого базиса позволяет перейти к дальнейшим этапам исследования, в частности, рассмотрению задач управления приводом НО и аспектов реализации СУЛП.

Разработана математическая модель рабочего цикла ЛП в виде иерархической нераскрашенной сети Петри. Она позволяет отразить очередность и взаимную согласованность имеющих место событий и состояний, исследовать рабочий цикл ЛП, а также может служить основой для построения алгоритма управления.

Результаты научно-исследовательской работы используются в учебном процессе Сумского государственного университета. Это позволяет повысить уровень подготовки специалистов с высшим образованием в области информационных технологий и ресурсосбережения.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2001. – 376 с.
2. Тимченко А.А. Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів: Основы САПР та системного проектирования складних об'єктів: Підручник/ За ред. В.І. Бикова. – 2-ге вид. – К.: Либідь, 2003. – 272 с.
3. Разработка объектно-ориентированных моделей систем управления исполнительными органами технологических машин: Отчет о НИР (промежуточный)/ СумГУ. – № ГР 0105U009179; Инв. №0206U007616. – К., 2006. – 142 с.
4. Червяков В.Д., Паньч А.А. Летучие механизмы как класс рабочих машин в аспекте задач управления// Электротехнические системы и комплексы: Межвузовский сборник научных трудов. – Магнитогорск: МГТУ. – 1998. – Вып. 3. – С.176-182.
5. Паньч А.А., Червяков В.Д. Структурно-алгоритмический базис объектно-ориентированной системы управления летучими пилами// Контроль і управління в складних системах (КУСС-99). Книга за матеріалами п'ятої міжнародної науково-технічної конференції. м. Вінниця, 3-5 лютого 1999 року. У 3-х томах. Том 2. – Вінниця: "УНІВЕРСУМ-Вінниця". – 1999. – С.66-72.
6. А.с. 1384351 СССР, МКИ В21 В37/06. Устройство для управления натяжением проката в непрерывной группе клетей мелкосортно-проволочного стана/ В.Д. Червяков, И.А. Селиванов, И.В. Щекотова и др. (СССР). Опубл. 30.03.88, Бюл. №12.
7. Буч. Г, Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 432 с.
8. Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
9. Сайт Object Management Group, Inc. – [www.omg.org](http://www.omg.org)

10. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 160 с.
11. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
12. Косолапов А.А., Туник Т.В. Автоматизация функционально-логической и конструктивной компоновки специфицированных вычислительных комплексов информационных систем в составе КСИ-технологии// Праці П'ятої Української конференції з автоматичного управління "Автоматика-98" – ч.IV – Київ: видавництво НТУУ КПІ. – 1998. – С.152-157.
13. Червяков В.Д., Паньч А.А. Функциональная схема объектно-ориентированной системы управления летучими пилами// Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. Вып. 1 – Кременчуг: КГПИ. – 1999. – С.60-64.
14. Червяков В.Д., Паньч А.А. Синтез объектно-ориентированных систем управления технологическими машинами на этапе концептуального проектирования/ Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2005. – № 2(2). – С.69-73.
15. Ямпольский Л.С., Банашак З. Автоматизация проектирования и управления в гибком производстве. – К.: Техника; Варшава: Научн.-техн. изд-во, 1989. – 214 с.
16. Мишель Ж., Лоржо К., Эспью Б. Программируемые контроллеры: Пер. с франц. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
17. Сосонкин В.Л. Программное управление технологическим оборудованием: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
18. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного программирования/ Под ред. проф. В.П.Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.
19. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 516 с.