

УДК 681.513.6

Информационная технология проектирования систем автоматизированного управления технологическими процессами

Рябцев В. Г., Уткина Т. Ю.

Постановка задачи: общей чертой всех процессов управления является то, что все они носят информационный характер, поскольку любой процесс для достижения цели требует сбора, обработки и передачи информации. Развитие средств вычислительной техники обеспечивает повышение скорости обработки и обмена информацией, что связано с необходимостью уменьшения времени, отведенного на выполнение транзакций с информационным ресурсом, но, как следствие, повышается интенсивность возникновения сбоев и отказов, происходит потеря информации, что вызывает перерывы в работе систем управления и приводит к техническим и экономическим затратам. В настоящее время остаются нерешенными задачи повышения эффективности процесса построения моделей систем управления за счет совершенствования способов преобразования информации и повышения их надежности за счет адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов. **Целью работы** является создание и развитие информационной технологии синтеза моделей автоматизированных систем управления, направленной на сокращение трудоемкости процесса построения моделей за счет усовершенствования способов преобразования информации о системе, и разработка методов повышения надежности за счет адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов. Для снижения трудоемкости разработки алгоритмов цифровых автоматов предлагается применять структурно-функциональные модели, которые представлены в виде ориентированных графов. **Используемые методы** основаны на использовании теории графов, алгебры логики, теории цифровых автоматов, системного анализа, технологии проектирования программных систем, сетей Петри, теории надежности и методов технической диагностики. **Новизна:** элементами новизны представленного решения являются структурно-функциональные модели цифровых автоматов управления исполнительными механизмами, которые позволяют снизить трудоемкость разработки проектов средств управления благодаря преобразованию информации, содержащейся на циклограмме в промежуточную форму, удобную для синтеза цифрового автомата с помощью современных инструментальных средств. Также к элементам новизны стоит отнести функциональную модель адаптации процесса управления к возможным отказам исполнительных механизмов. **Результат:** использование структурно-функциональных моделей цифровых автоматов для синтеза алгоритмов систем автоматизированного управления позволяет снизить продолжительность проектирования моделей цифровых автоматов управления фасовочно-упаковочными машинами. Усовершенствованный метод моделирования алгоритмов автоматизированного управления фасовочно-упаковочными машинами обеспечивает прогнозирование последствий неисправностей технологического оборудования еще на этапе отладки алгоритмов, что также снижает трудоемкость поиска и устранения неисправностей. **Практическая значимость:** применение предлагаемого решения позволяет уменьшить технологические потери упаковочной тары и фасуемых продуктов, а также улучшить качество выпускаемой продукции за счет сокращения времени нахождения ее без надлежащих условий хранения при ремонте фасовочной машины и сократить расходы предприятия на утилизацию отходов производства. Реализация новой технологии позволяет преобразовывать информацию, содержащуюся на циклограмме, в промежуточную форму, удобную для синтеза цифрового автомата с помощью современных инструментальных средств, оценить альтернативные алгоритмы управления и выбрать наиболее эффективный на этапе проектирования системы без реализации всей системы.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, информационная технология, технологические операции, цифровые автоматы, структурно-функциональные модели, исполнительные механизмы, циклограмма, фасовочно-упаковочные машины.

Актуальность

С развитием новых информационных технологий (ИТ) современные специализированные модели объектов управления служат фундаментом для построения новых методов преобразования информации об автоматизированных системах управления (АСУ). В настоящее время благодаря повсеместной информатизации и компьютеризации ИТ получили особый статус. АСУ широко применяются в областях управления энергетикой, транспортными коммуникациями, правительственными, банковскими системами, промышленным производством и другими объектами. Развитие и распространение данных систем требует создания и развития новых ИТ для синтеза моделей систем управления автоматизированными процессами.

Значительный вклад в развитие методов синтеза моделей АСУ сделали отечественные ученые В.М. Глушков, А.И. Китов, А.А. Красовский, А.М. Ляпунов, А.В. Михайлов, Д.А. Поспелов, В.С. Пугачев, В.С. Семенихин, В.И. Скурихин, В.В. Солодовников, Я.З. Цыпкин и др. [1-3].

Однако в настоящее время остаются нерешенными задачи снижения трудоемкости построения моделей АСУ за счет усовершенствования способов преобразования информации об объекте и повышения их надежности за счет адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов (ИМ).

Например, в системах автоматизированного управления технологическими процессами (ТП) фасовки и упаковки плодо-молочной продукции применяются ИМ различных типов, которые работают в неблагоприятных условиях окружающей среды: повышенная влажность, запыленность атмосферы, воздействие повышенной температуры, вибрации и т.п. Внешние воздействия могут привести к отказам механизмов, что может быть причиной выпуска бракованной продукции и других негативных последствий. Если в процессе функционирования автоматизированной системы осуществляется фасовка и укупоривание скоропортящейся продукции, то длительные остановки для ремонта механизмов могут привести к порче продукции в таре, с которой не выполнены все технологические операции (ТО). Для исключения негативных последствий, вызванных отказами механизмов, необходима адаптация ТО к отказам механизмов. Такую адаптацию необходимо закладывать еще на этапе проектирования алгоритмов формирования управляющих воздействий.

Информационную модель проектирования АСУ фасовочно-упаковочной машины (ФУМ) можно представить в виде иерархически взаимосвязанных диаграмм IDEF-SADT (Icam DEFinition-Structured Analysis & Design Technique) структурного системного анализа, которые позволяет разбивать первоначальное представление сложной системы на отдельные составные части, при этом детали каждой конкретизируются на следующих диаграммах, описывающих взаимодействие процессов и потоков информации [4].

Одной из наиболее важных особенностей методологии SADT является постепенное введение дополнительных уровней детализации при создании диаграмм, отражающих модель. Модель SADT представляет собой серию

диаграмм, которая разбивает сложный объект на составные части, которые, в свою очередь, представлены в виде блоков, и сопровождаются соответствующей документацией. Детали каждого из основных блоков показаны в виде блоков на других диаграммах. Каждая детальная диаграмма является декомпозицией блока из более общей диаграммы. На каждом шаге декомпозиции более общую диаграмму называют родительской для более детальной диаграммы.

Известны различные методы программной реализации дискретных управляющих автоматов, базирующиеся на эквивалентном аппаратном представлении автомата в виде трех устройств: входного логического преобразователя, памяти и выходного логического преобразователя. При разработке моделей и проектов управляющих автоматов перед проектировщиками возникает сложная задача перехода по техническому заданию, сформулированному технологом, к функциям изменения состояний и выхода автомата [5, 6]. При декомпозиции задачи, когда она представлена иерархией взаимодействующих между собой автоматов, такие функции могут быть получены, минимизированы и реализованы. Но малейшие изменения алгоритма приведут к необходимости повторного решения задачи и к большим затратам на разработку [7, 8].

Сложность решения задачи отмечается всеми специалистами в области промышленной автоматизации [5, 9, 10]. Даже используя самый современный промышленный контроллер со специальным языком программирования, например, языком релейно-контакторных схем или булевой алгебры, приходится, прежде всего, сформулировать задачу управления [11-13].

За последние несколько лет производители промышленных программируемых контроллеров пытаются создавать методы интуитивно понятного программирования. Для формулировки задачи применяются циклограммы, сети Петри и графы переходов автоматов [14-16]. Версии языков программирования промышленных контроллеров на основе графов переходов автоматов предлагают фирмы «Шнайдер Электрик», «Сименс», «Фесто» и ряд других. Очевидно, что использование таких языков во встроенных системах управления невозможно из-за отсутствия лицензионных трансляторов и из-за ограничений по быстродействию.

При проектировании алгоритмов работы и программного обеспечения АСУ существует два подхода к решению проблемы взаимодействия инженера-технолога и программиста [7, 10].

Первый подход заключается в том, что проектирование выполняется на специализированном языке, что позволяет при минимальном знании программирования и доскональном владении информацией о существующем ТП, создать алгоритм функционирования будущей цифровой системы (ЦС).

Второй подход заключается в том, что проектирование поручают программисту, для чего существуют универсальные мощные средства проектирования ЦС [5, 11, 17]. Это позволяет при углубленных знаниях языков

программирования и некоторых знаниях о существующем ТП предприятия, полученных от инженера-технолога, создать алгоритм будущей ЦС.

Однако с одной стороны, программист, мало эрудированный в тонкостях ТП, может допускать ошибки при разработке алгоритма, которые выявляются инженером-технологом, что требует дополнительной доработки и увеличивает время проектирования. С другой стороны, инженеру-технологу не ясны языки программирования и специализированные системы проектирования ЦС, поэтому не стоит ожидать от него создания оптимального алгоритма работы проектируемого устройства.

При проектировании ЦС, осуществляющих управление ТП, остается открытым вопрос выбора метода разработки и отладки алгоритмов управления ИМ. Последовательность включения/выключения ИМ определяется инженером-технологом, а причинно-следственные связи раскрываются с помощью циклограммы работы механизмов, на которой они представлены командами и подкрепляются соответствующими надписями.

Циклограммы по форме графического изображения бывают прямоугольными, линейными или кольцевыми. В прямоугольных циклограммах каждому интервалу перемещения рабочего органа ставится в соответствие свой прямоугольник с основанием, выполненный без учета масштаба.

Для линейных циклограмм характерно, что каждому интервалу перемещения рабочего органа, отмеренному по оси абсцисс, соответствует наклонная линия, а каждому выстой – горизонтальная линия. Иногда у линий наносят поясняющие надписи: «подъем», «опускание», «ход вперед», «выстой снизу» и др.

Однако, информация о причинно-следственных связях между ИМ, которая приведена в циклограмме, не позволяет формализовать процесс синтеза функций переходов и выходов, необходимых для построения моделей цифрового автомата (ЦА). Для отображения всех причинно-следственных связей предлагается применять структурно-функциональные модели ЦА, которые позволяют сократить вероятность возникновения ошибок при дальнейшем синтезе проекта автомата с помощью наиболее распространенных инструментальных средств.

Постановка задач

Цель работы состоит в создании и развитии информационной технологии синтеза моделей автоматизированной системы управления технологическими процессами, направленной на сокращение трудоемкости процесса построения моделей за счет усовершенствования способов преобразования информации о системе и разработке методов повышения надежности автоматизированной системы управления за счет адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов.

Согласно поставленной цели задачами данной работы являются:

- создание концепции информационной технологии для разработки систем автоматизированного управления технологическими процессами;
- построение структурно-функциональных моделей цифровых автоматов для управления исполнительными механизмами фасовочно-упаковочных машин;
- выбор методов и средств моделирования устройств управления автоматизированных систем на основе цифровых автоматов;
- разработка метода адаптации процесса управления к отказам исполнительных механизмов для обеспечения прогнозирования последствий неисправностей при эксплуатации фасовочно-упаковочных машин.

Для достижения поставленной цели предлагается концепция ИТ разработки систем управления ТП, которая объединяет существующие подходы и устанавливает взаимосвязь между программистом и инженером-технологом посредством создания интерактивной среды разработки. В интерактивной среде разработки отображается циклограмма работы соответствующего механизма или машины, подлежащей автоматизации, и с помощью графического редактора можно наносить в виде нового слоя элементы программирования ЦА, причем работа в интерактивной среде должна вестись совместно инженером-технологом и программистом одновременно [18].

Программист создает соответствующие состояния ЦС, а инженер-технолог сразу же консультирует программиста об условиях срабатывания механизмов, соответствующие данному состоянию, и возможных реакциях на его поломку [18, 19].

Предлагаемая ИТ проектирования АСУ ТП представляет собой платформу проектирования, которая состоит из следующих этапов:

- построение информационной модели АСУ;
- анализ циклограммы работы, построенной инженером-технологом;
- создание структурно-функциональных моделей ЦА управления ИМ;
- получение объединенных таблиц функций переходов и выходов;
- разработка иерархической системной модели ЦА в специализированной среде проектирования, например, Active-HDL;
- создание функциональной модели адаптации процесса управления к возможным отказам ИМ;
- верификация разработанных моделей и генерация соответствующей программы автоматизированного управления ИМ на одном из предложенных текстовых языков описания аппаратуры: VHDL, Verilog или SystemC [20].

Последовательность этапов проектирования АСУ ТП в соответствии с предлагаемой ИТ изображена в виде структурной схемы на рис. 1.

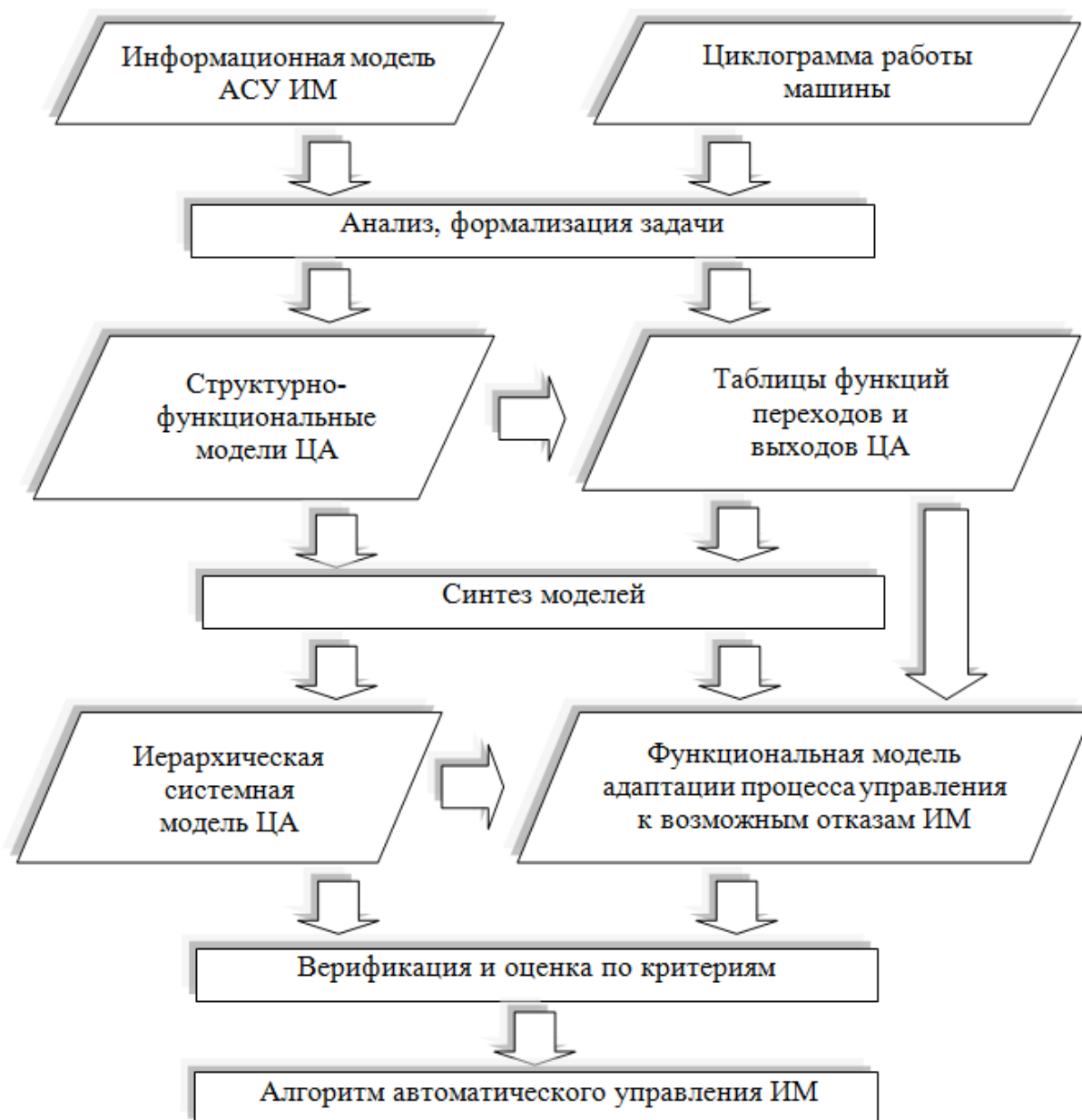


Рис. 1. Этапы проектирования АСУ ТП

Алгоритмы разработки структурно-функциональных моделей конечных автоматов АСУ, которые построены по описанным выше концепциям, показаны на рис. 2.

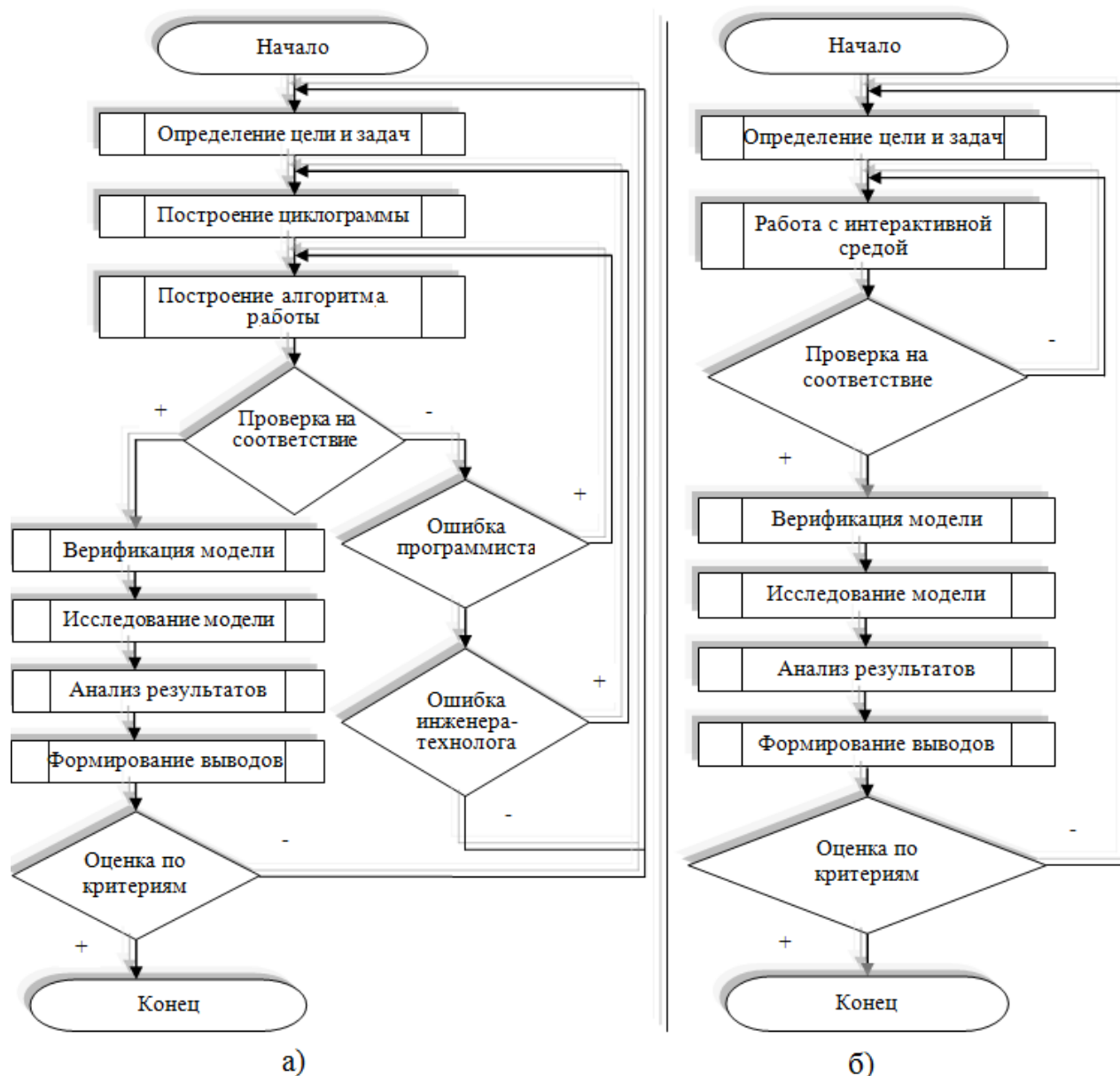


Рис. 2. Алгоритмы проектирования структурно-функциональных моделей конечных автоматов: а) существующий; б) предлагаемый.

Примеры результатов, получаемых на различных этапах проектирования АСУ ТП, приведены на рис. 3.

По заданной циклограмме проектируются структурно-цифровые модели конечных автоматов, для которых составляются объединенные таблицы функций переходов и выходов, а затем проектируется иерархичная системная модель ЦА.

Назначение операции	Обозначение цикла	Время, сек.				Датчик
		0	1	2	3	
Поворот карусели	Z1					D1.1 D1.2
Вакуум-захват стаканчика	Z2					
Отделение стаканчика	Z3					
Контроль наличия стаканчика	Z4					
Фасовка продукта-1	Z5					

Состояния		Условия переходов	Выполняемые действия
текущее	новое		
Entry	S1	Run = '1' and T = '1' and P = '1'	U <= '0'; Z1 <= '1'; Tm := now; Tb := now;
S1	S1	(Tm - Tb) < T Z2 B	Tm := now;
	S2	(Tm - Tb) >= T Z2 B	Z2 <= '1';
S2	S2	(Tm - Tb) < T Z1 E	Tm := now;
	S3	(Tm - Tb) >= T Z1 E	Z1 <= '0';
S3	S3	(Tm - Tb) < T Z3 B	Tm := now;
	S4	(Tm - Tb) >= T Z3 B	Z3 <= '1';
S4	S4	(Tm - Tb) < T Z2 E	Tm := now;
	S5	(Tm - Tb) >= T Z2 E	Z2 <= '0';
S5	S5	(Tm - Tb) < T Z3 E	Tm := now;
	S6	(Tm - Tb) >= T Z3 E	Z3 <= '0';
S6	S6	(Tm - Tb) < T sum	Tm := now;
	Exit	(Tm - Tb) >= T sum	

The diagram shows a circular neural network with 8 nodes labeled N0 through N7. A 'Seed' input, represented by a triangle, points to node N0. Node N0 has a self-loop and a connection to node N1. The nodes are arranged in a circle, with connections between N1 and N2, N2 and N3, N3 and N4, N4 and N5, N5 and N6, N6 and N7, and N7 and N0, forming a closed loop.

URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-01/09-Ryabtsev.pdf>

Структурно-функциональные модели цифровых автоматов для управления исполнительными механизмами

Цель управления состоит в том, чтобы объект управления (ОУ) в условиях реальной эксплуатации обеспечивал выполнение заданных функций [1, 21]. Состояние объекта определяется одним или несколькими рабочими параметрами $Y(t)$. В качестве рабочих параметров выступают физические величины: температура, давление, скорость линейная или вращательная, напряжение электрического тока и др. Кроме того, на ОУ оказывают влияние внешние воздействия $Z(t)$ (рис. 4), которые называют возмущениями. Такие действия вызывают изменение внутреннего состояния объекта и, как следствие, рабочих параметров. Поэтому необходимо организовывать поступления управляющих воздействий $U(t)$ на ОУ для выполнения им рабочих функции по заданным алгоритмам. Данные алгоритмы предусматривают поддержку рабочих параметров постоянными во времени или изменение их по определенному известному закону.



Рис. 4. Структурная схема объекта управления

Можно определить основные требования к АСУ фасовки и упаковки продукции: высокие быстродействие и точность формирования управляющих воздействий, с целью обеспечения большей надежности, высокая помехоустойчивость каналов передачи сигналов и невысокая стоимость оборудования.

Циклом механизма ФУМ называется совокупность движений и остановок (состояний) всех его элементов. Цикл рабочего органа – это совокупность всех его состояний, которые составляют круговорот в течение некоторого промежутка времени, который называется временем цикла [21, 22].

Циклы рабочих органов, управляемых с помощью исполнительных органов циклического действия, как правило, состоят из следующих перемещений и остановок:

t_p – время движения рабочего органа в направлении выполнения ТО, так называемого рабочего хода или рабочего перемещения;

$t_{o.p}$ – время остановки рабочего органа после выполнения операции;

t_x – время движения рабочего органа к первичному местоположению (исходному), так называемого холостого хода или холостого перемещения;

$t_{o.x}$ – время нахождения рабочего органа в исходном положении.

Время кинематического цикла рабочего органа (механизма) является суммой времени всех его состояний и рассчитывается по формуле:

$$T_k = t_p + t_{o.p} + t_x + t_{o.x}.$$

Для осуществления заданного ТП необходимо, чтобы рабочие органы машины двигались с определенными скоростями и ускорениями, а их перемещение образовывали определенную последовательность, которая требуется.

Пример выполнения технологических операций фасовки и упаковки продукта на ФУМ Пастпак-Р2 [23] для зерненного сыра приведен на рис. 5.

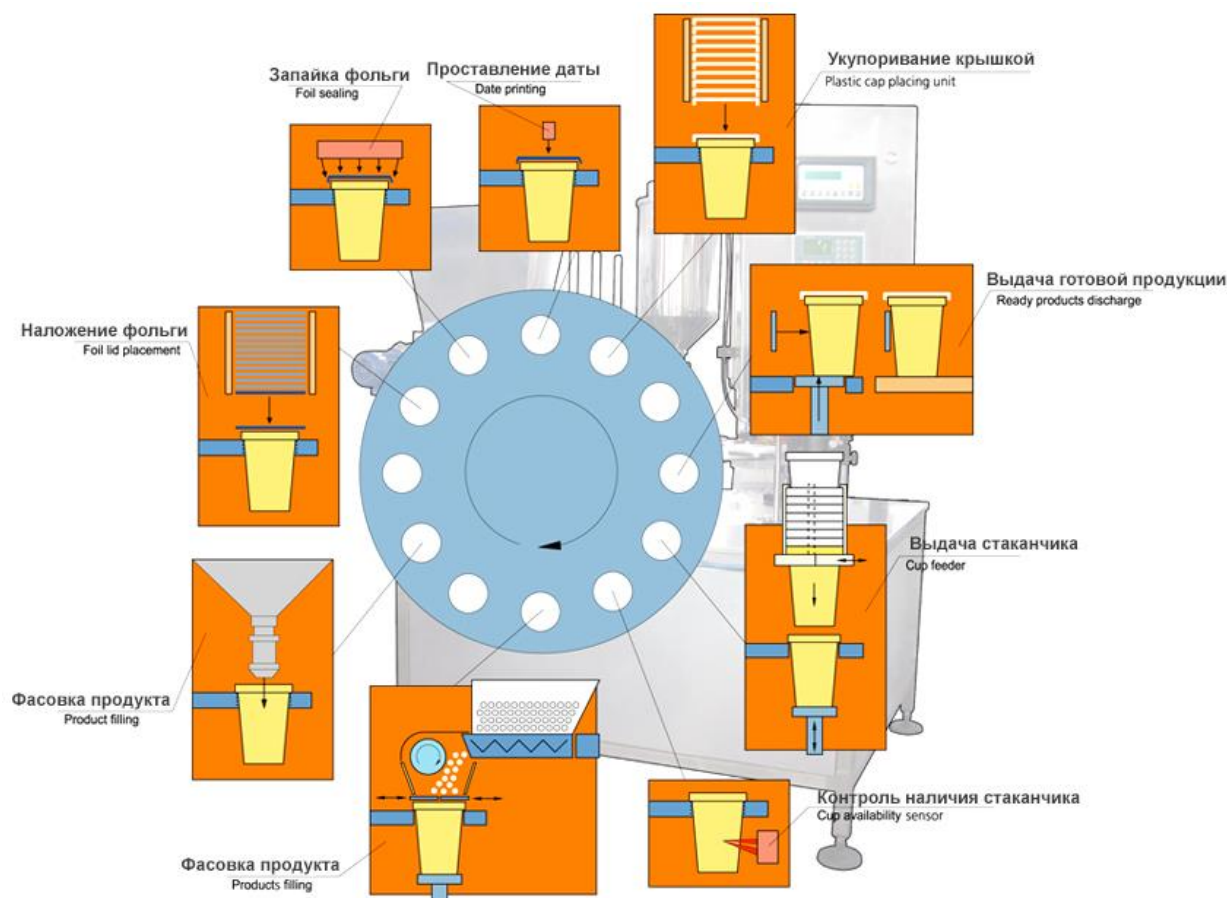


Рис. 5. Операции фасовки и упаковки продукта на ФУМ карусельного типа

Графическое изображение последовательности перемещений и остановок рабочих органов машины называется цикловой диаграммой (циклограммой). Циклограмма ФУМ отображает состояния всех ее рабочих органов.

Циклограмма работы ИМ ФУМ Пастпак-Р2 для зерненого сыра приведена на рис. 6.

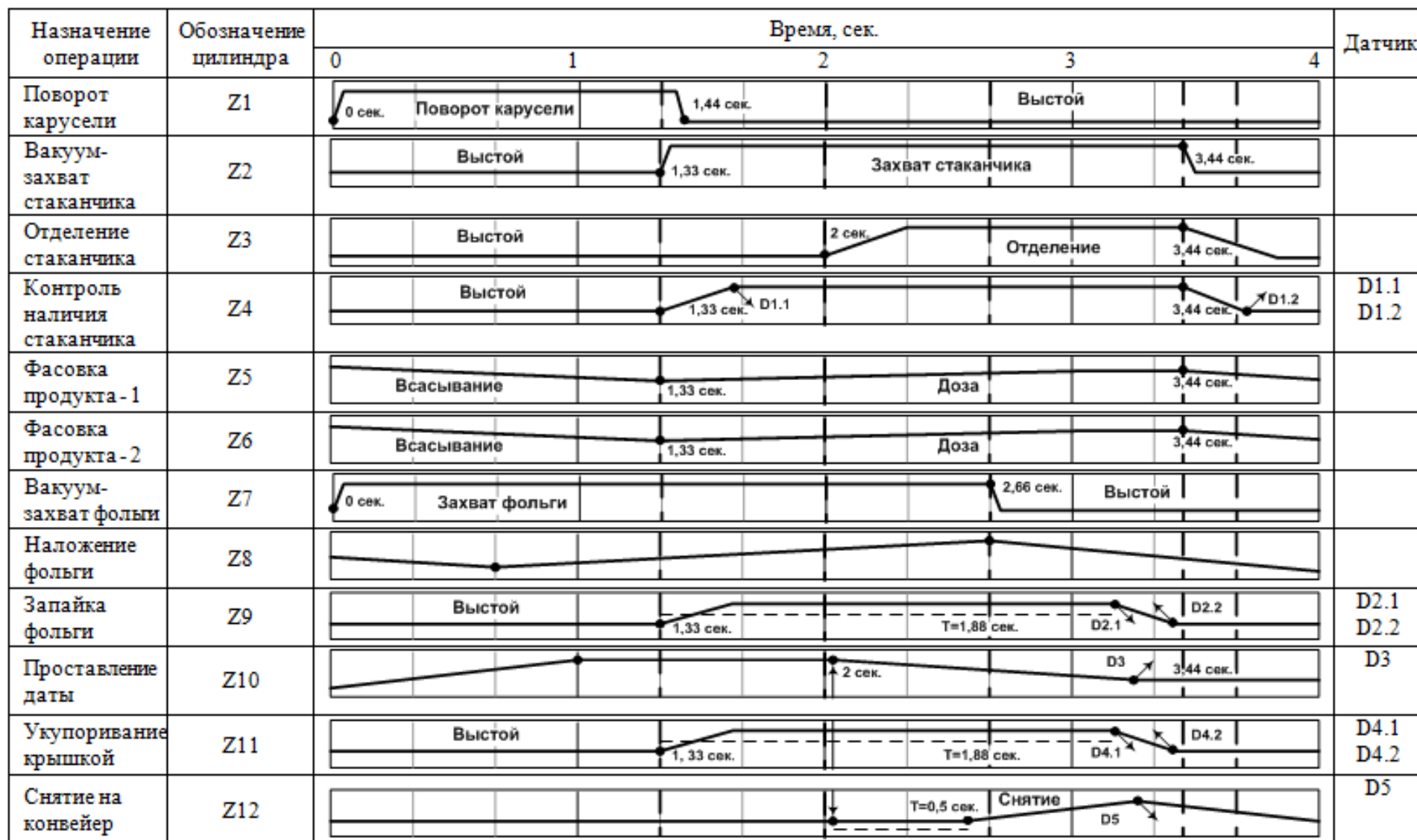


Рис. 6. Циклограмма работы исполнительных механизмов ФУМ Пастпак-Р2

Начало и конец перемещения рабочих органов в пределах кинематического цикла определяют по циклограмме машины. Отсчет времени ведется с момента начала рабочего хода ведомого звена ФУМ, принятого за основной. Рекомендуются в качестве основного выбирать механизм, который выполняет наиболее длительную или трудоемкую ТО или первую по порядку в ТП.

Линиями со стрелками на циклограмме обозначена передача управления, а именно причинно-следственные связи между командами ИМ.

ФУМ Пастпак-Р2 представляет собой автомат роторного типа для фасовки в пластиковую тару продукта рассыпчатой структуры, который требует бережного дозирования, с последующим наложением и запайкой фольги, проставлением даты и укупоркой пластиковой крышкой.

ТП фасовки продукта на ФПМ Пастпак-Р2 для зерненного сыра состоит в следующем. Отделитель стаканчиков отделяет стаканчик от общей стопки в кассете стаканчиков, а переносчик стаканчиков вакуум-захватом опуская его вниз и устанавливает в одно гнездо операционного ротора. Наличие стаканчика контролируется соответствующим датчиком наличия. Дозатор-1 выдает заданную порцию сыра. Дозатор-2 выдает заданную порцию сливок. Вакуум-захвата механизма подачи фольги отделяет фольгу от общей стопки в кассете фольги и, обернувшись на 180° , накладывает ее на верхний борт стаканчика. При соответствующей температуре происходит запайка фольги. Маркер, опускаясь вниз, наносит дату на фольгу. Механизм укупорки крышек надевает крышку на верхней борт стаканчика, образующей вместе с бортом крышки замок. Стаканчики с продуктом выталкивателем поднимаются вверх и съемником стаканчиков подаются на конвейер, который отводит их от машины [23, 24].

Выполнение ТО возможно только, если давление сжатого воздуха в пневмосистеме находится в диапазоне $0,6 \pm 0,02$ МПа, а температура сварки не ниже допустимой.

На циклограмме видно, что первой операцией является поворот карусели на 130° , но для активизации данной операции необходимо соблюдение условия:

$$Run = '1' \wedge P = '1' \wedge T = '1',$$

где Run – сигнал пуска;

P – состояние индикатора давления в пневмосистеме;

T – состояние индикатора температуры термосваривания.

Далее активизируются механизмы вакуум-захвата стаканчика, отделение стаканчика. Следующая позиция ФУМ отвечает за контроль наличия стаканчика на позиции, который осуществляется с помощью соответствующего сенсора, при этом, если датчик $D1.1 = '1'$, то это свидетельствует о начале ТО, а датчик $D1.2 = '1'$ соответственно сигнализирует о ее завершения. На позиции дозирования механизм подъемника подводит стаканчик к дозатору, происходит наполнение его сыром до срабатывания тензодатчика, после чего заслонки закрываются, стаканчик опускается и перемещается дальше на позиции заливки сливок, наложения и запайки фольги, проставление даты и т.д. За правильность выполнения этих операций отвечают датчики положений $D2.1, D2.2,$

D3, D4.1, D4.2, D5. Продолжительность активного состояния большинства ИМ, указывается на циклограмме, исключением является пневмоцилиндр Z12, который отвечает за перемещение стаканчика на приемный столик, так как для выполнения этой ТО достаточно лишь прикосновения к стаканчику для его снятия с карусели.

Разработка алгоритмов управления ФУМ является трудоемкой процедурой, ее можно выполнять на реальных механизмах в режиме автоматизированного управления, однако это приведет к значительным потерям времени, фасуемого продукта и тары, а в ряде случаев может привести к неисправностям ИМ или травматизму обслуживающего персонала. Таким образом, актуальной является задача разработки и исследования структурно-функциональных моделей ФУМ и ИТ для синтеза, анализа и оптимизации алгоритмов автоматизированного управления ИМ автоматизированной фасовки и упаковки плодо-молочной продукции.

Последовательность включения и отключения механизмов определяется технологом, а причинно-следственные связи между командами указываются на циклограмме. Однако информацию, представленную в специфической форме, необходимо преобразовать в форму, удобную для разработки алгоритмов, и отладки программного кода управляющего контроллера, реализованного в виде ЦА [18, 25].

Приведем основные определения, которые необходимы для разработки ИТ проектирования структурно-функциональных моделей конечных автоматов ФУМ и структурно-функциональных моделей ЦА управления ИМ.

Определение 1. Положительный фронт ТО представляет собой процесс последовательного включения ИМ, которые параллельно выполняют ТО в соответствии с заданным ТП на позициях, расположенных по направлению рабочего хода или перемещения карусели ФУМ.

Определение 2. Отрицательный фронт ТО представляет собой процесс последовательного выключения ИМ, которые параллельно выполняют ТО в соответствии с заданным ТП на позициях, расположенных против рабочего хода или перемещения карусели ФУМ.

Определение 3. Рабочий цикл ФУМ представляет собой последовательность всех ТО на всех позициях карусели ФУМ, выполняемых параллельно, в соответствии с заданным ТП.

Для снижения трудоемкости разработки алгоритмов ЦА предлагается применять его структурно-функциональную модель, которая представлена в виде ориентированного графа переходов $G = (S, A)$, вершины которого расположены на оси времени, причем положение каждой вершины S_i относительно начальной вершины S_1 определяется интервалом времени T_i , $i = \overline{2, k}$, где k – число вершин графа [25].

Смежные вершины графа $(S_1, S_2), (S_2, S_3), \dots, (S_{k-1}, S_k)$ соединены дугами, ориентированными по направлению возрастания оси времени.

Граф переходов $G = (S, A)$ обладает следующими свойствами:

- а) граф не содержит параллельных дуг;
- б) в множестве вершин графа выделена одна вершина S_1 , которая называется входом графа;
- в) в множестве вершин графа выделена одна вершина S_k , которая называется выходом графа;
- г) каждая вершина графа S_j , $j = 1, k-1$ достигает выхода S_k .

Множество вершин графа переходов включает в себя два подмножества вершин $S \subset (S_w, S_c)$. Первое подмножество вершин S_w соответствует состояниям, в которых выполняются операции формирования управляющих сигналов W_i на включение и выключение ИМ $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$. Второе подмножество вершин S_c соответствует состояниям, ЦА, в которых осуществляются операции сравнения текущего модельного времени T_m с заданными моментами на оси времени, а также при помощи множества датчиков $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ контролируются конечные состояния ИМ. Состояния контроля положения ИМ в заданные моменты времени обозначаются на графе переходов символом « \oplus ».

Структурно-функциональная модель ЦА, управляющего операциями первого цикла возрастающего фронта, для ФУМ Пастпак-Р2 карусельного типа приведена на рис. 7. Данный автомат управляет двумя механизмами и имеет 7 состояний.

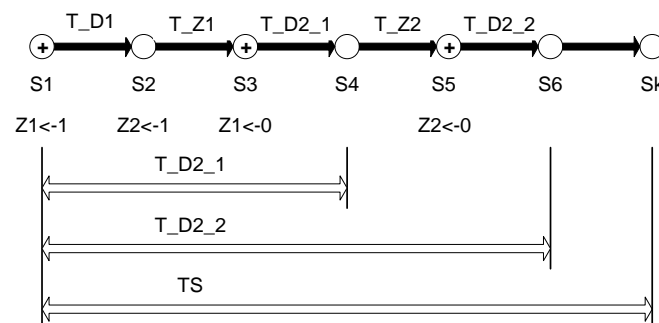


Рис. 7. Модель автомата, управляющего первым циклом операций

Состояние S_1 является входом графа, S_k является выходом графа. Дуги графа переходов нагружены интервалами времени, продолжительность которых задается технологом на соответствующей циклограмме.

В состояниях S_1 и S_2 включаются ИМ $Z1$ и $Z2$ соответственно. В состояниях, отмеченных знаком « \oplus », обеспечивается контроль выполнения условий переходов. В состояниях S_4 и S_6 контролируются моменты срабатывания датчиков $D2.1$ и $D2.2$ соответственно. В состояниях S_3 и S_5 выключаются ИМ $Z1$ и $Z2$ соответственно. Общая продолжительность полного цикла работы ЦА равна S_k .

Структурно-функциональная модель цифрового автомата, управляющего тремя механизмами второго цикла возрастающего фронта операций, приведена на рис. 8.

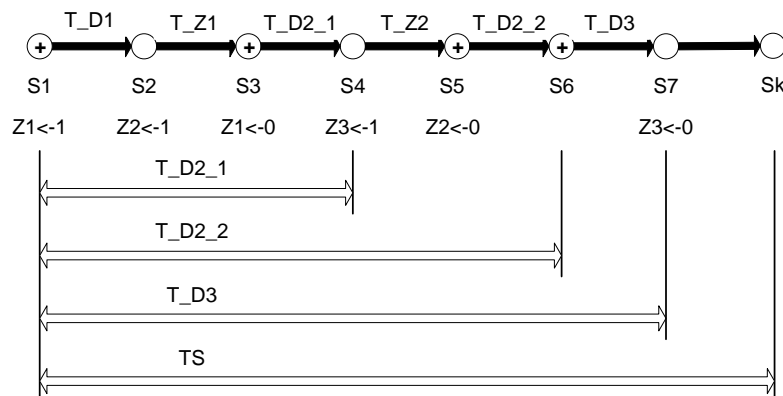


Рис. 8. Модель автомата, управляющего вторым циклом операций

На состояния автомата влияют три временных параметра, определяющие моменты срабатывания датчиков D2.1, D2.2 и D3. Автомат переходит в конечное состояние S_k после достижения модельным временем значения TS.

На структурно-функциональной модели ЦА, приведенной на рис. 9, показаны состояния для управления операциями третьего цикла возрастающего фронта операций.

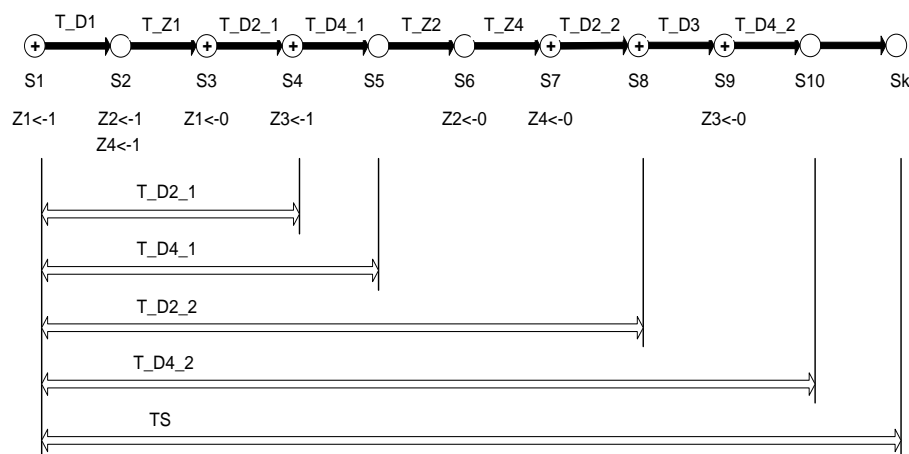


Рис. 9. Модель автомата, управляющего третьим циклом операций

Данный автомат управляет четырьмя механизмами, а контроль их положений осуществляет набор датчиков D2.1, D2.2, D3, D4.1 и D4.2. Если в состояниях, отмеченных символом « \oplus », не выполняются условия переходов, то происходит аварийный останов системы управления.

На рис. 10 приведена структурно-функциональная модель ЦА, управляющего операциями четвертого цикла возрастающего фронта операций.

Модель данного автомата содержит 13 состояний, автомат управляет 5 механизмами, для контроля состояний которых применяются 6 датчиков. Аналогичные модели можно составить для всех циклов возрастающего фронта ТО.

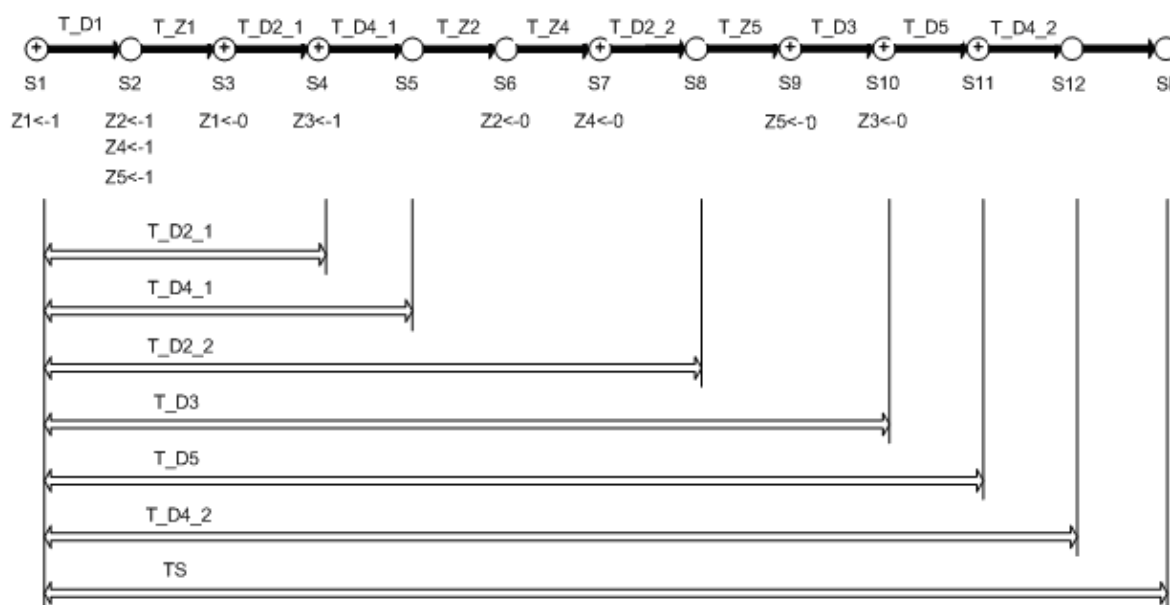


Рис. 10. Модель автомата, управляющего четвертым циклом операций

Как видно из рис. 7-10, с увеличением количества применяемых механизмов сложность ЦА увеличивается.

Для определения эффективности ИТ проектирования структурно-функциональных моделей конечных автоматов был проведен эксперимент, который заключался в проведении проектирования моделей ЦА управления ФУМ Пастпак-Р2 для фасовки зернового сыра с применением разработанной технологии и без ее применения [23].

Результаты проведенного эксперимента по проектированию конечных автоматов для синтеза алгоритмов автоматизированного управления ТП ФУМ, управляющей возрастающим фронтом ТО, соответствуют данным, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Продолжительность проектирования
для положительного фронта ТО

Номер цикла	Количество состояний	Время проектирования, мин.	
		без применения ИТ	с применением ИТ
1	6	20	15
2	10	34	27
3	12	42	34
4	14	50	41
5	16	58	50
6	18	71	58
7	21	88	69
8	24	110	83
9	27	133	91
10	29	152	100
Всего	177	758	568

Зависимости продолжительности проектирования моделей ЦА ФУМ, управляющих возрастающим фронтом ТО, без и с применением новой технологии представлены на рис. 11.

Выполним расчет средней продолжительности проектирования модели ЦА ФУМ, управляющей положительным фронтом ТО, без и с применением разработанной ИТ.

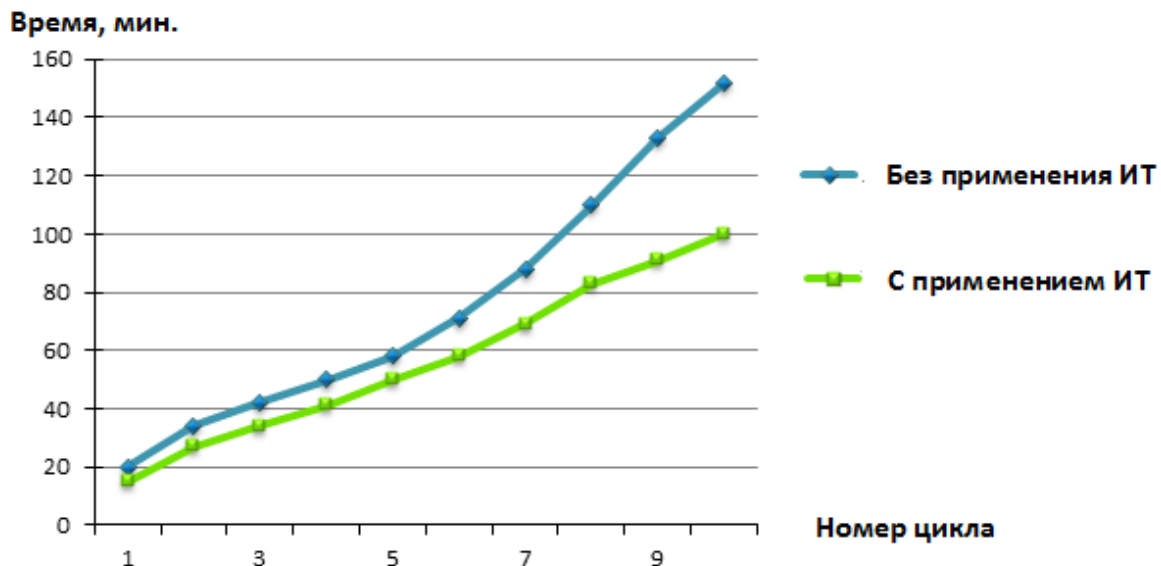


Рис. 11. Графики зависимостей продолжительности проектирования от сложности моделей

Средняя продолжительность проектирования моделей ЦА ФУМ без применения предлагаемой ИТ:

$$T_{cp_ИТ} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} = \frac{758}{177} \approx 4,282 \text{ мин.},$$

где n – количество состояний ЦА.

Средняя продолжительность проектирования моделей ЦА ФУМ с применением предлагаемой ИТ:

$$T_{cp_без_ИТ} = \frac{\sum_{j=1}^n T_j}{n} = \frac{568}{177} \approx 3,209 \text{ мин.}$$

Таким образом, применение предложенной ИТ проектирования структурно-функциональных моделей конечных автоматов для синтеза алгоритмов автоматизированного управления ТП позволяет на 30,15 % уменьшить продолжительность проектирования.

Применение структурно-функциональных моделей ЦА, представленных в виде графов переходов, отображающихся на оси модельного времени позволяет сократить трудоемкость разработки алгоритмов формирования управляющих сигналов [7, 18].

Для реализации режимов пуска и программируемой остановки без разлива продуктов и возникновения бракованной продукции предлагается использовать иерархические ЦА, которые можно проектировать в системах автоматизированного проектирования, например, Active-HDL [26, 27].

Методы и средства моделирования цифровых автоматов

Для проектирования моделей ЦА целесообразно использовать интегрированную среду проектирования цифровых устройств Active-HDL [20].

Основными функциями среды Active-HDL являются:

- 1) синтез алгоритмов управления ИМ, представленных в виде графов состояний ЦА с конечным числом состояний;
- 2) анализ ошибок, вносимых пользователем;
- 3) объединение отдельных моделей ЦА в сценарии управления ТО путем применения иерархического представления проекта;
- 4) разработка стимулирующих воздействий (TestBench), которые определяют параметры управляющих сигналов и имитируют срабатывания датчиков, фиксирующих достижения ИМ конечных положений;
- 5) автоматическая компиляция алгоритмов в программы автоматизированного управления технологическим оборудованием на язык программирования VHDL и обработка файлов с проектами;
- 6) верификация скомпилированных программ управления ИМ, данный режим необходим для контроля соответствия связей “причина-следствие” между ИМ и данными, указанными в циклограмме ФУМ;
- 7) имитация отказов ИМ или датчиков, которые контролируют их положение, обеспечивающая прогнозирование последствий неисправностей технологического оборудования и исключение аварийных ситуаций еще на этапе отладки алгоритмов, что снижает трудоемкость поиска и устранения неисправностей при эксплуатации ФУМ [19, 28].

Панель экрана конечного автомата, приведенная на рис. 12, разделена на две части: основание объявлений и рабочую область, в котором проектируется модель ЦА. Заголовок декларации включает в себя декларацию входных и выходных портов автомата.

Приведенные выше функции среды Active-HDL снижают трудоемкость проектирования и верификации моделей ЦА для устройств автоматизированного управления ТО ФУМ.

Применение редактора диаграмм состояний (State Diagram Editor) позволяет автоматизировать формирование HDL-кода проекта, провести его верификацию и выбрать перспективную систему управления.

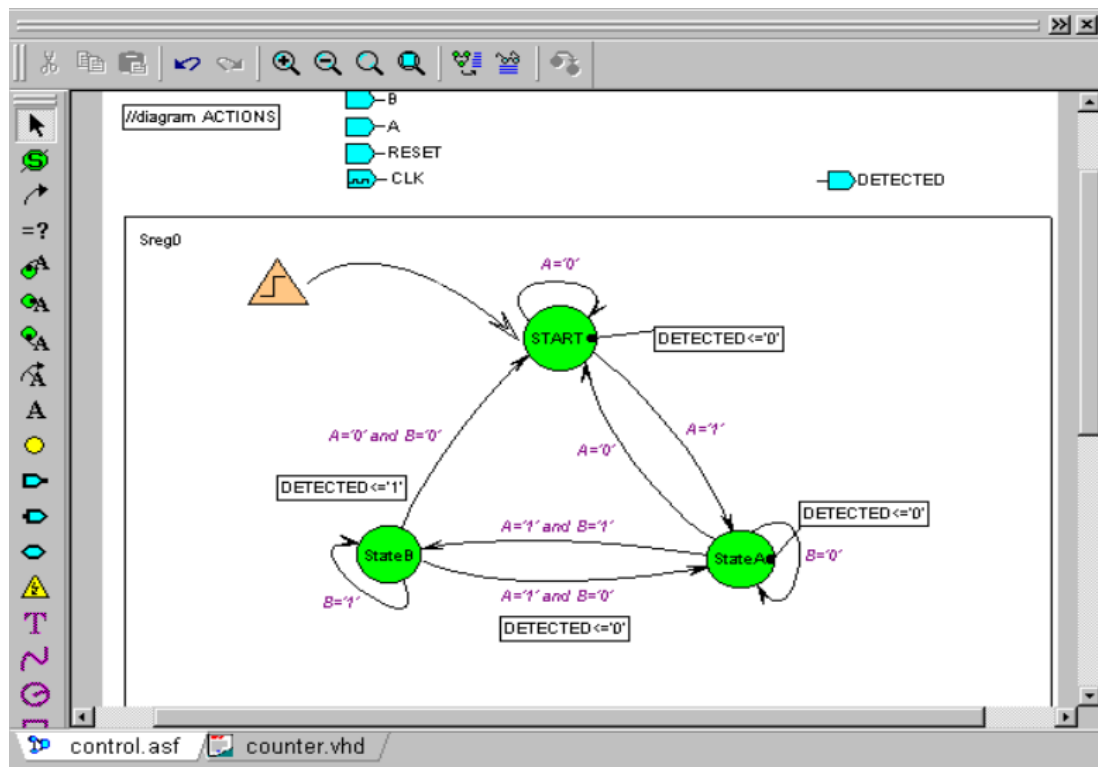


Рис. 12. Пример модели цифрового автомата в среде Active-HDL

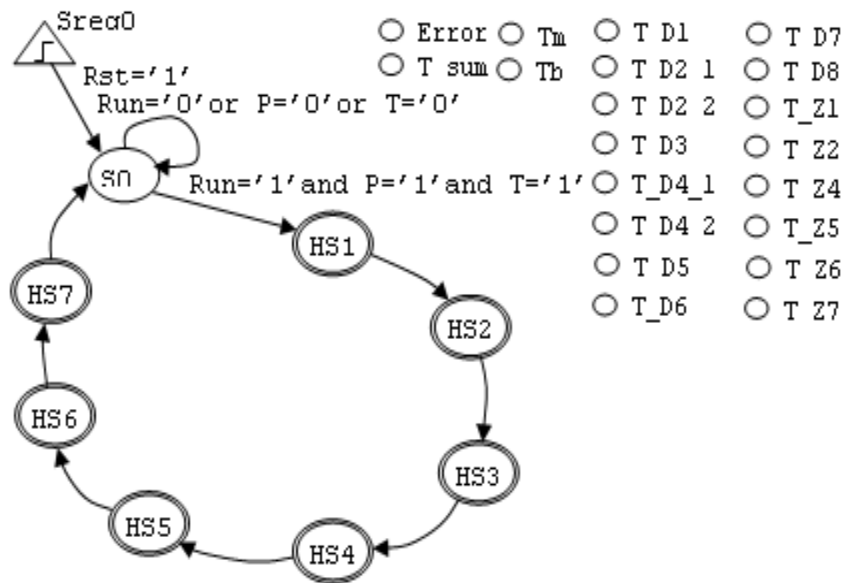
При пуске и программируемой остановке ФУМ необходимо применять сложные алгоритмы, которые можно представить в виде иерархических графов автоматов. Иерархические ЦА для режима пуска приведены на рис. 13, а.

Для объединения различных алгоритмов в общий алгоритм используется иерархическое состояние (Hier State, HS). Иерархические группы алгоритмов ЦА для режима пуска и для режима программируемой остановки приведены на рис. 13, б.

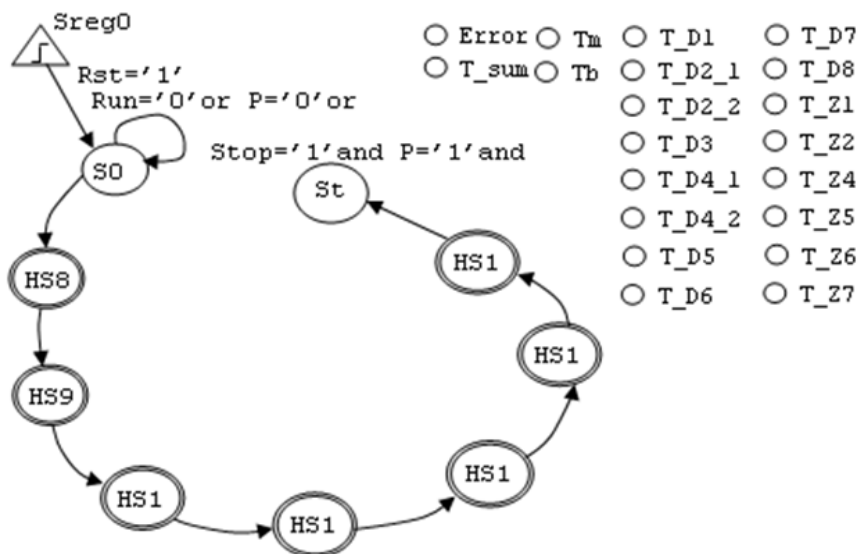
Для перевода автомата в исходное состояние используется одиночный импульс сигнала Rst. В состоянии S_0 анализируется выполнение условий запуска автомата. В иерархическом состоянии HS1 формируются управляющие сигналы, активизирующие механизмы, обеспечивающие поворот стола и отделение стаканчиков из подготовленного набора [24].

Для запуска первого цикла ТО необходимо выполнения условия: $Run \wedge P \wedge T = '1'$. Для увеличения модельного времени на величину периода синхросигнала выполняется команда $T_m := now$.

Совмещенная таблица функционирования конечного автомата, полученная на основании анализа модели автомата, управляющего первым циклом операций, приведена в таблице 2.



а)



б)

Рис. 13. Иерархические группы алгоритмов цифровых автоматов:
а) для режима пуска; б) для режима программируемой остановки

Время активного состояния ИМ, выполняющих ТО, задается при помощи временных интервалов T_{Z1} , T_{Z2} , которые определяются технологом на циклограмме. Общая продолжительность цикла операций устанавливается параметром T_{sum} .

В каждом следующем цикле возрастающего фронта операций формируются необходимые управляющие сигналы, обеспечивающие активизацию ИМ, которые находятся на следующих позициях машины и их положения контролируются датчиками перемещения. Для верификации моделей ЦА необходимо контролировать моменты времени включения и выключения всех ИМ [26, 27].

Таблица 2 – Совмещенная таблица функционирования конечного автомата

Текущее состояние	Условие перехода	Новое состояние	Действие	Функции
S0	Run = '0' or P = '0' or T = '0'	S0		
S0	Run \wedge P \wedge T = '1'	S1	Z1 \leq '1'	Tm := now; Tb := now
S1	(Tm - Tb) \geq T_D1 and D1 = '0'	S0	Error := 'A'	
S1	(Tm - Tb) < T_D1	S1		Tm := now
S1	(Tm - Tb) \geq T_D1 and D1 = '1'	S2	Z2 \leq '1'	
S2	(Tm - Tb) < T_D1 + T_Z1	S2		Tm := now
S2	(Tm - Tb) \geq T_D1 + T_Z1	S3	Z1 \leq '0'	
S3	(Tm - Tb) \geq T_D2_1 and (D2_1 = '0')	S0	Error := 'B'	
S3	(Tm - Tb) < T_D2_1	S3		Tm := now
S3	(Tm \geq T_D2_1) and (D2_1 = '1')	S4		
S4	(Tm - Tb) < T_D2_1 + T_Z2	S4		Tm := now
S4	(Tm - Tb) \geq T_D2_1 + T_Z2	S5	Z2 \leq '0'	
S5	(Tm - Tb) \geq T_D2_2 and (D2_2 = '0')	S0	Error := 'C'	
S5	(Tm - Tb) < T_D2_2	S5		Tm := now
S5	(Tm \geq T_D2_2) and (D2_2 = '1')	S6		
S6	(Tm - Tb) < T_sum	S6		Tm := now
S6	(Tm - Tb) \geq T_sum	S7		Exit

На рис. 14 показаны результаты моделирования семи циклов возрастающего фронта ТО.

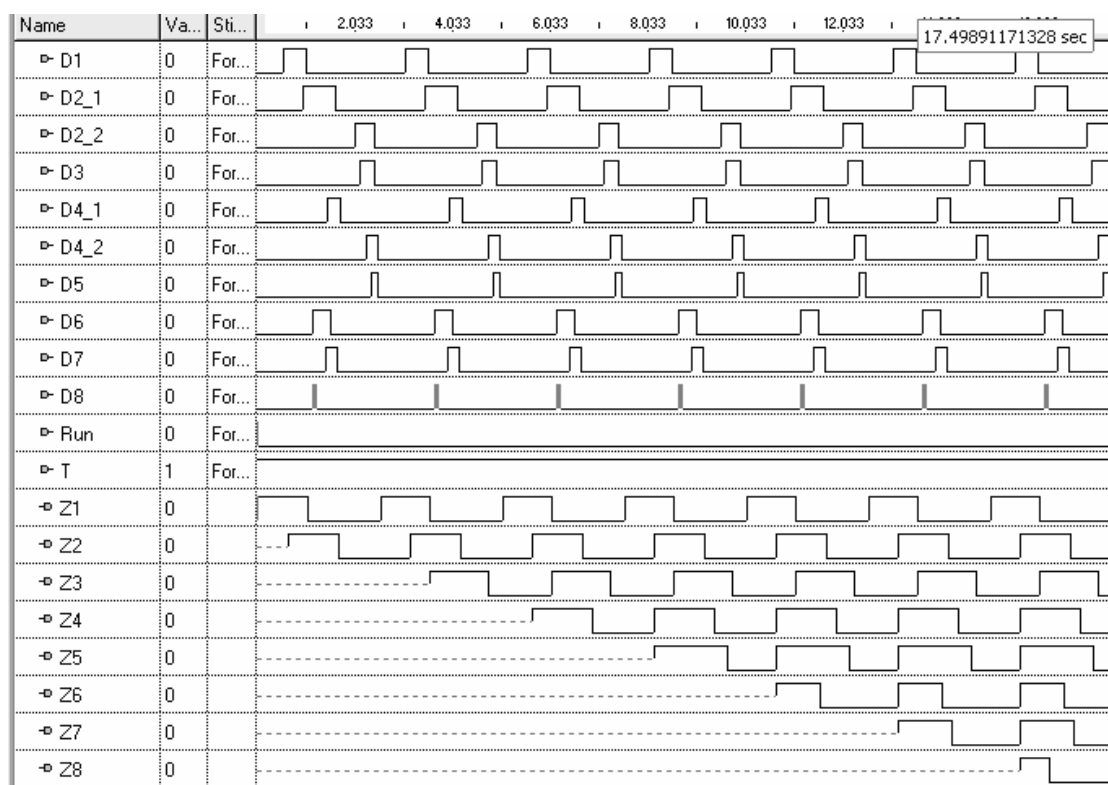


Рис. 14. Результаты моделирования

При анализе возрастающего фронта ТО установлено, что при отказе механизма поворота карусели Z1 или механизмов Z7, или Z8 необходимо остановить машину, т.к. не будет перемещения тары от одной позиции к другой. Для адаптации ТП к отказам остальных механизмов можно использовать результаты моделирования, методика выполнения которого предложена в следующем разделе.

Адаптация технологических процессов к отказам исполнительных механизмов

В известных алгоритмах управления, если возникнут неисправности в цепочке последовательно расположенных механизмов, выполняющих ТО по фасовке и укупориванию скоропортящихся продуктов, то останавливаются все механизмы для устранения поломки. Этот процесс может занять продолжительное время, в течение которого на рабочем столе остается упаковочная тара, с которой не завершены все ТО, и она может быть по ошибке отправлена потребителю или будет храниться в ненадлежащих климатических условиях.

Для моделирования процессов фасовки и упаковки плодо-молочной продукции целесообразно применять сети Петри, которые являются двудольными, ориентированными мультиграфами, которые описывается пятеркой компонентов [15, 16]:

$$N = (P, T, F, H, \mu_0),$$

где P – конечное непустое множество элементов, называемых позициями;
 T – конечное непустое множество элементов, называемых переходами;
 $F : P \times T \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ и $H : T \times P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – функции инцидентности;
 $\mu_0 : P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ – начальная разметка.

Сети Петри обычно представляют в виде геометрического объекта. При этом позиции изображаются кружками, переходы – черточками или прямоугольниками. Дуга проводится от позиции p_i к переходу t_j в том случае, если $F(p_i, t_j) \geq 1$, а от перехода t_j к позиции p_i , если $H(t_j, p_i) \geq 1$.

Если $F(p_i, t_j) \geq 1$, то позицию p_i называют входной к переходу t_j , а переход t_j выходным к позиции p_i . В сети Петри условия моделируются позициями, события – переходами. Предусловия событий представляются входными позициями соответствующего перехода, постусловия – выходными позициями.

Множество входных позиций к переходу t_j определяется выражением $pre(t_j) = \{p : F(p, t_j) \geq 1\}$, а множество выходных переходов к позиции p_i выражением $post(p_i) = \{t : F(p_i, t) \geq 1\}$. Аналогично определяются множества входных переходов и выходных позиций.

При функционировании сеть Петри переходит от одной разметки к другой. Переход t может сработать при разметке μ ,

если $\forall p \in pre(t): \mu(p) - F(p, t) \geq 0$, где $\mu(p)$ число меток в позиции p . В результате срабатывания перехода t новая разметка μ' возникает в соответствии со следующим правилом:

$$\forall p \in (pre(t) \cup post(t)): \mu'(p) = \mu(p) - F(p, t) + H(t, p).$$

В этом случае говорят, что разметка μ' достижима из разметки μ , а μ предшествует μ' . Данный факт обозначается следующим образом: $\mu \rightarrow t \mu'$. Сеть останавливается, если при некоторой разметке не может сработать ни один из ее переходов. Такая разметка называется тупиковой. Таким образом, сеть Петри моделирует некоторую структуру и динамику ее функционирования.

На рис. 15 приведена сеть Петри в виде математической модели для ФУМ, содержащей 4 параллельно работающих механизма [28].

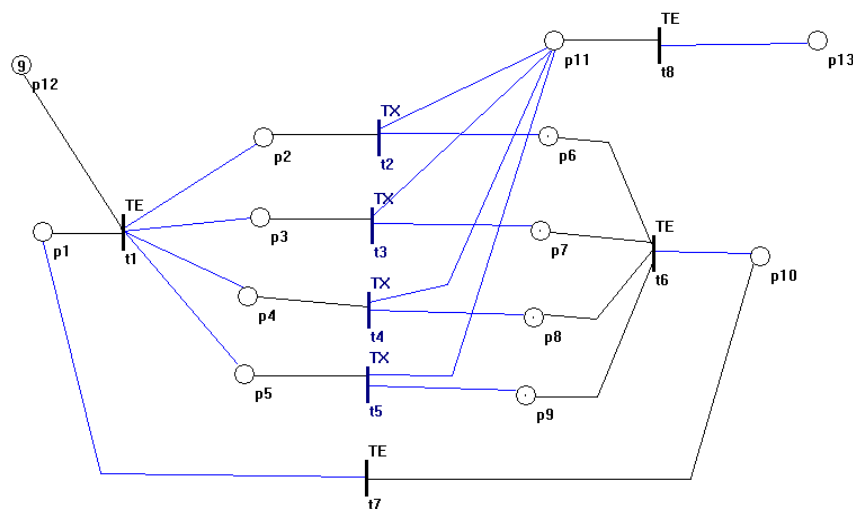


Рис. 15. Состояния сети Петри при исправных механизмах

В сети используются простые переходы – ТЕ и переходы-переключатели – ТХ. Переход в позицию p_{11} возможен с вероятностью возникновения отказа соответствующего механизма q_i . Переход t_6 возможен, если все механизмы исправны с вероятностью работоспособного состояния каждого механизма r_i и если все ТО выполнены успешно.

Если в ФУМ произойдет отказ одного из механизмов, (например, 1-го), то в позиции p_{11} появится фишка и все механизмы остановятся для выполнения ремонтных работ. При продолжительном ремонте продукция может испортиться и будет списана как технологические потери.

Введем основные определения, характеризующие возможность адаптации к отказам ИМ [19, 28].

Определение 4. ТП называется *алгоритмически неадаптируемым к отказам* исполнительных механизмов, если после выявления какой-либо неисправности исполнительного механизма нельзя применить алгоритм, обеспечивающий работоспособность системы, а необходимо выключить все исполнительные механизмы.

Определение 5. ТП называется *алгоритмически адаптируемым к отказам* исполнительных механизмов, если при выявлении отказа j -го механизма, где $1 < j \leq k - 1$, k – количество исполнительных механизмов, можно выполнить алгоритм адаптации, обеспечивающий отключение механизмов принадлежащих множеству $S_1 \in \{1, 2, \dots, j + 1\}$, и работу оставшихся механизмов по алгоритму адаптации к данному виду отказа.

Определение 6. *Алгоритмом адаптации* называется последовательность управляющих сигналов, которая с целью минимизации потерь тары и фасуемой продукции, обеспечивает выполнение ТО исполнительными механизмами, принадлежащих множеству $S_2 \in \{j + 2, \dots, k\}$, и останов механизмов, принадлежащих множеству $S_1 \in \{1, 2, \dots, j + 1\}$.

При отказе механизма, обеспечивающего вращение карусели, предпоследнего или последнего механизмов ФУМ карусельного типа алгоритмическая адаптация ТП к отказам невозможна.

В алгоритмах адаптации к отказам ИМ, управляющие воздействия должны отличаться от воздействий рабочего режима и должны обеспечить дальнейшую работу тех механизмов, на которые не влияют последствия поломки других механизмов в течение нескольких циклов. Для учета возможных отказов механизмов необходимо разработать команды управления механизмами таким образом, чтобы они смогли выполнить еще несколько операций для логичного завершения ТП [28, 29]. Причем каждый механизм должен выполнить разное число операций, число которых возрастает при удалении места расположения механизма от позиции отказавшего механизма.

Сеть Петри ФУМ, алгоритм управления которой обеспечивает контроль работоспособности 1-го механизма, показана на рис. 16. При его отказе принимается решение по адаптированному управлению остальными механизмами.

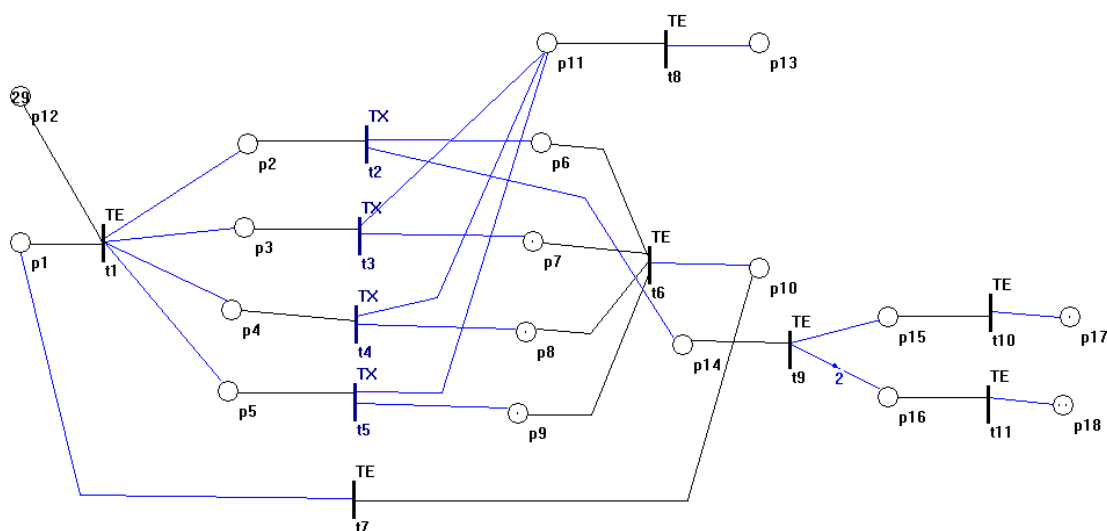


Рис. 16. Состояние сети Петри после отказа 1-го механизма

Если первый механизм подавал стаканчики и вышел из строя, то второму механизму некуда будет наполнять плодо-молочный продукт, и он должен остановиться, а остальные механизмы продолжают работать до тех пор, пока к ним будет поступать пригодные к выполнению операций стаканчики. Аналогичным образом можно смоделировать алгоритмы управления, адаптируемые к отказам остальных механизмов.

Выполним расчет сокращения технологических потерь упаковочной тары и фасуемых продуктов за счет применения предлагаемого алгоритма адаптации ТП к отказам ИМ ФУМ, имеющей 8 механизмов, из которых первый вращает карусель, а восьмой выгружает готовую продукцию. Без данного алгоритма отказ любого механизма приводил к останову машины. Тогда с первой позиции можно вернуть в стопку тары пустой стаканчик или пустую коробку, а из последней позиции можно снять пригодную для продажи продукцию. Таким образом, потери тары и фасуемого продукта для данной ФУМ составят: $P_m = P_{np} = 5$.

При применении алгоритма управления, адаптированного к отказам ИМ, потери тары и продуктов соответствуют данным, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Технологические потери из-за отказов исполнительных механизмов

Номер отказавшего механизма	Величина технологических потерь	
	тары	продуктов
1	5	5
2	1	0
3	2	1
4	3	2
5	4	3
6	5	4
7	6	5
8	6	5

Если учесть, что вероятности возникновения отказов механизмов одинаковы, то можно рассчитать среднюю величину технологических потерь для новой ситуации. Среднее количество потерь тары вычисляется по формуле:

$$P_{cp_m} = \frac{5+1+2+2+4+5+6+6}{8} = \frac{32}{8} = 4.$$

Среднее количество потерь фасуемых продуктов определяется следующим образом:

$$P_{cp_np} = \frac{5+1+2+3+4+5+5}{8} = \frac{25}{8} = 3,125.$$

Экономия потерь фасуемой тары составляет:

$$\mathcal{E}_m = \left(1 - \frac{P_{cp_m}}{P_m}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{4}{5}\right) \cdot 100\% = 20\%.$$

Экономия потерь фасуемых продуктов определяется следующим образом:

$$\mathcal{E}_{np} = \left(1 - \frac{P_{cp-np}}{P_{np}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{3,125}{5}\right) \cdot 100\% = 37,5\%.$$

Разработанный сценарий управления ИМ, адаптирован к отказам ИМ и позволяет на 20% уменьшить технологические потери упаковочной тары и на 37,5% фасуемых продуктов, а также улучшить качество выпускаемой продукции за счет сокращения времени нахождения ее на столе машины при ремонте.

Выводы

Отличительными чертами предлагаемой концепции от существующих технологий являются:

- установление взаимосвязи между программистом и инженером-технологом с помощью интерактивной среды разработки;
- сокращение времени разработки ЦС автоматизированного управления ТП;
- уменьшение количества технологических ошибок, как со стороны программиста, так и со стороны инженера-технолога, при создании алгоритма управления ТП.

Таким образом, при применении предложенной концепции инженер-технолог может быть уверен в соблюдении всех важных деталей ТП, а программист имеет возможность избежать большого количества ошибок при создании алгоритма работы, проектируемого устройства. Интерактивная среда также позволит программисту сохранить разработанный алгоритм в существующем формате диаграмм состояний, который можно использовать в уже существующих специализированных средствах проектирования ЦС известных фирм, при этом программист использует новые возможности, которые они предоставляют.

Предлагаемый метод адаптации ТО к отказам ИМ обеспечивает процесс создания сложных систем реального времени, позволяет оценить эффективность алгоритмов и выбрать наиболее эффективный алгоритм еще на этапе проектирования без реализации всей системы. При применении данного метода предоставляется возможность выявить слабые и сильные места процесса управления ИМ, повысить производительность ФУМ за счет выбора наиболее оптимальных алгоритмов управления для достижения конкретной цели с заданными характеристиками.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке РФФИ инициативного научного проекта № 16-08-00393.

Литература

1. Глушков В. М., Капитонова Ю. В., Мищенко А. Т. Логическое проектирование дискретных устройств. К.: Наук. думка, 1987. 204 с.

2. Глушков В. М. Синтез цифровых автоматов. М.: Физматгиз, 1962. 476 с.
3. Красовский А. А., Поспелов Г. С. Основы автоматики и технической кибернетики. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 600 с.
4. Калянов Г. Н. CASE структурный системный анализ (автоматизация и применение). М.: Лори, 1996. 248 с.
5. Зюбин В. Е. Программирование информационно-управляющих систем на основе конечных автоматов: учеб.-метод. пособ. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2006. 96 с.
6. Карпов Ю. Г. Теория автоматов. СПб.: Питер, 2002. 224 с.
7. Фурман И. А., Бовчалюк С. Я. Совершенствование математической модели и архитектуры логических управляющих автоматов параллельного действия // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2006. № 3 (59). С. 72-76.
8. Хопкрофт Д., Мотвани Р., Ульман Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений: пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2002. 528 с.
9. Антик М. И. Синхронные цифровые автоматы: учеб. пособ. М.: МИРЭА, 2004. 100 с.
10. Канжелев С. Ю., Шалыто А. А. Автоматическая генерация автоматного кода // Информационно-управляющие системы. 2006. № 6. С. 35-42.
11. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера: пер. 3-го англ. изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 516 с.
12. Шалыто А. А. Switch-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. СПб.: Наука, 1998. 628 с.
13. Шалыто А. А. Автоматное программирование // Компьютерные науки и информационные технологии: тезисы докладов Междунар. науч. конф. памяти проф. А. М. Богомолова. Саратов: Саратовский государственный университет, 2007.
14. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / под ред. проф. В. П. Дьяконова. М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 256 с.
15. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 264 с.
16. Шакирова Н. Ф. Формальный аппарат регулярных сетей Петри // Обработка информации и моделирование: сб. ст. Московского физико-технического института. 2002. С. 263-289.
17. Деменков Н. П. Языки программирования промышленных контроллеров: учеб. пособ. / под ред. К. А. Пупкова. М.: Изд-во Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, 2004. 172 с.
18. Аль Мадди М. К., Моамар Д. Н., Уткина Т. Ю. Информационная технология проектирования моделей конечных автоматов // АСУ и приборы автоматики. 2007. № 141 (4). С. 58-62.

19. Лукашенко А. Г., Моамар Д. Н., Рябцев В. Г., Уткина Т. Ю. Метод моделирования алгоритмов управления исполнительными механизмами, адаптируемых к отказам // Перспективные вопросы мировой науки – 2008: материалы IV науч.-практ. конф. (17-19 дек. 2008 г.): тезисы докл. Днепропетровск: Изд. «Наука и образование», 2008. № 19. С. 37-40.
20. Семенец В.В., Хаханова И. В., Хаханов В. И. Проектирование цифровых систем с использованием языка VHDL. Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2003. 492 с.
21. Шувалова Л. А. Методы абстрактного синтеза структуры и последовательности выполнения операций фасовочно-упаковочных машин // Вісник Хмельницького національного університету. 2005. № 4. С. 55-58.
22. Шувалова Л. А., Моамар Д. Н., Уткина Т. Ю. Структура программного комплекса синтеза и верификации моделей цифровых автоматов // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. 2010. № 5 (85). С. 149-151.
23. Пастпак-Р2 для фасовки зерненого творага // Оборудование для фасовки и упаковки жидких и пастообразных продуктов компании «Таурас-Феникс» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.taurasfenix.com/manufacture/by-type-auto/fasovochnye-avtomaty-v-plastikovuyu-taru/pastpak-r2/> (дата обращения: 07.01.16).
24. Моамар Д. Н., Уткина Т. Ю., Шувалова Л. А. Метод моделирования алгоритмов автоматизированного управления фасовочно-упаковочными машинами // Вісник Хмельницького національного університету. 2008. № 4. С. 140-144.
25. Уткина Т.Ю. Концепция информационной технологии разработки алгоритмов управления технологическими процессами // Інформаційні технології в освіті, науці і техніці: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. конф. (4-6 трав. 2010 р.): тези доп. Черкаси: Черкаський державний технологічний університет, 2010. Т. 1. С. 61.
26. Моамар Д. Н., Уткина Т. Ю., Шувалова Л. А. Верификация моделей конечных автоматов // Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці: зб. тез конф. (8-10 квіт. 2008 р.). Луганськ, 2008. С. 72-74.
27. Моамар Д. Н., Уткина Т. Ю., Шувалова Л. А. Метод верификации структурно-функциональных моделей конечных автоматов // Вісник Східноукраїнського національного університету. 2008. № 12 (130). С. 88-94.
28. Моамар Д. Н., Рябцев В. Г., Уткина Т. Ю. Моделирование процесса адаптации технологических операций к отказам исполнительных механизмов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2009. № 5 (39). С. 39-43.
29. Уткина Т. Ю., Моамар Д. Н. Алгоритм адаптации управляющей системы к отказам исполнительных механизмов // Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг: матеріали I Всеукр. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених. (Донецьк, 19–21 трав. 2010 р.). Донецьк: Донецький національний технічний університет, 2010. С. 122-126.

References

1. Glushkov V. M., Kapitonova Yu. V., Mishchenko A. T. *Logicheskoe proektirovanie diskretnykh ustroystv* [The Logical Design of Discrete Devices]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987, 204 p. (in Russian).
2. Glushkov V. M. *Sintez tsifrovyykh avtomatov* [Synthesis of Digital Automata]. Moscow, State Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 1962, 476 p. (in Russian).
3. Krasovskii A. A., Pospelov G. S. *Osnovy avtomatiki i tekhnicheskoi kibernetiki* [Fundamentals of Automation and Technical Cybernetics]. Moscow, Leningrad, State Publishing House of Literature on Energy, 1962, 600 p. (in Russian).
4. Kalianov G. N. *CASE strukturnyi sistemnyi analiz (avtomatizatsiia i primeneniye)* [CASE Structural System Analysis (Automation and Application)]. Moscow, Lori Publ., 1996, 248 p. (in Russian).
5. Zyubin V. E. *Programmirovaniye informatsionno-upravlyaiushchikh sistem na osnove konechnykh avtomatov* [Programming Information and Control Systems Based on Finite Automata]. Novosibirsk, Novosibirsk State University Publ., 2006, 96 p. (in Russian).
6. Karpov Yu. G. *Teoriya avtomatov* [Automata Theory]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2002, 224 p. (in Russian).
7. Furman I. A., Bovchalyuk S. Ya. Sovershenstvovaniye matematicheskoi modeli i arkhitektury logicheskikh upravlyaiushchikh avtomatov parallel'nogo deystviya [Improvement of Mathematical Model and Architecture of Logical Control Automatic Machines of Parallel Action]. *Information and Control Systems at Railway Transport*, 2006, vol. 3, no. 59, pp. 72-76 (in Russian).
8. Hopcroft J. E., Motwani R., Ullman J. D. *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*. United States of America, 2ed., 2001, 521 p.
9. Antik M. I. *Sinkhronnye tsifrovye avtomaty* [Synchronous Digital Automata]. Moscow, MIREA Publ., 2004. 100 p. (in Russian).
10. Kanzhelev S. Yu., Shalyto A. A. Avtomaticheskaya generatsiya avtomatnogo koda [Automatic Generation of an Automaton Code]. *Informatsionno-upravlyaiushchie sistemy*, 2006, no. 6, pp. 35-42 (in Russian).
11. Parr E. A. *Programmable Controllers. An engineer's guide*, Great Britain, 2003, 430 p.
12. Shalyto A. A. *Switch-tekhnologiya. Algoritmizatsiya i programmirovaniye zadach logicheskogo upravleniya* [Switch-Technology. Algorithmic and Programming Logic Control Tasks]. Saint-Petersburg, Nauka Publ., 1998, 628 p. (in Russian).
13. Shalyto A. A. Avtomatnoe programmirovaniye [Automata Programming]. *Tezisy dokladov Mezhdunar. nauch. konf. pamiati prof. A. M. Bogomolova "Komp'yuternye nauki i informatsionnye tekhnologii"* [Proceedings of International Scientific Conference in Memory of Prof. A. M. Bogomolov "Computer Science and Information Technology"]. Saratov, Saratov State University Publ., 2007.

14. Petrov I. V. *Programmiruemye kontrollery. Standartnye iazyki i priemy prikladnogo proektirovaniia* [Programmable Controllers. Standard Languages and Techniques of Applied Design]. Moscow, SOLON-Press Publ., 2004, 256 p. (in Russian).
15. Peterson J. *Petri Net Theory and the Modelling of Systems*, Prentice Hall, Englewood Clis, New Jersey, 1981.
16. Shakirova N. F. Formal'nyi apparat reguliarnykh setei Petri [Regular Formal Apparatus of Petri Nets]. *Information Processing and Modeling*. Moscow, 2002, pp. 263-289 (in Russian).
17. Demenkov N. P. *Iazyki programmirovaniia promyshlennykh kontrollerov* [Programming Languages of Industrial Controllers]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2004, 172 p. (in Russian).
18. Almadi M. K., Moamar D. N., Utkina T. Yu. Informatsionnaia tekhnologiia proektirovaniia modelei konechnykh avtomatov [Information Technology of Designing Models of Finite Automata]. *Automated Control Systems and Automation Devices*, 2007, vol. 4, no. 141, pp. 58-62 (in Russian).
19. Lukashenko A. G., Moamar D. N., Ryabtsev V. G., Utkina T. Yu. Metod modelirovaniia algoritmov upravleniia ispolnitel'nymi mekhanizmami, adaptiruemykh k otkazam [The Modeling Method of Control Algorithms Actuators Adapted to Failures]. *Materialy IV nauch.-prakt. konf. "Perspektivnye voprosy mirovoi nauki - 2008"* [Proceedings of the 4th Scientific-Practical Conf. "Future Issues of the World of Science - 2008"]. Dnepropetrovsk, 2008, pp. 37-40 (in Russian).
20. Semenets V. V., Khakhanova I. V., Khakhanov V. I. *Proektirovanie tsifrovyykh sistem s ispol'zovaniem iazyka VHDL* [Design of Digital Systems Using VHDL Language]. Kharkiv, Kharkiv National University of Radio Electronics Publ., 2003, 492 p. (in Russian).
21. Shuvalova L. A. Metody abstraktnogo sinteza struktury i posledovatel'nosti vypolneniia operatsii fasovochno-upakovochnykh mashin [Abstract Methods of Synthesis of Structure and Sequence Performing the Filling and Packaging Machines Operations]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, Technical science*, Khmelnytsky, 2005, no. 4, pp. 55-58 (in Russian).
22. Shuvalova L. A., Moamar D. N., Utkina T. Yu. Struktura programmnoho kompleksa sinteza i verifikatsii modelei tsifrovyykh avtomatov [Structure of the program complex of synthesis and verification of models of digital automata]. *Systems of Information Processing*, Kharkiv, 2010, vol. 5, no. 85, pp. 149-151 (in Russian).
23. Pastpack-P2 for packing of granulated cottage cheese. *Equipment for filling and packaging of liquid and paste products company "Tauras Fenix"*. Available at: <http://www.taurasfenix.com/manufacture/by-type-auto/fasovochnye-avtomaty-v-plastikovuyu-taru/pastpak-r2/> (accessed 7 January 2016) (in Russian).
24. Moamar D. N., Utkina T. Yu., Shuvalova L. A. Metod modelirovaniia algoritmov avtomatizirovannogo upravleniia fasovochno-upakovochnymi mashinami [The Method of Modeling Algorithms for Automated Control of Packing Machines].

Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, Technical science, Khmelnytsky, 2008, no. 4, pp. 140-144 (in Russian).

25. Utkina T. Yu. Kontseptsiia informatsionnoi tekhnologii razrabotki algoritmov upravleniia tekhnologicheskimi protsessami [The Concept of Information Technology for Development of Control Algorithms of Technological Processes]. *Materiali VII Vseukr. nauk.-prakt. konf. "Informatsiini tekhnologii v osviti, nauksi i tekhnitsi"* [Proceedings of the 7th All-Ukrainian scientific-practical conference "Information Technology in Education, Science and Technology"]. Cherkasy, Cherkasy State Technological University Publ., 2010, vol. 1, p. 61 (in Russian).

26. Moamar D. N., Utkina T. Yu., Shuvalova L. A. Verifikatsiia modelei konechnykh avtomatov [Verification of Models Finite Automata]. *Zbirnyk tez konf. "Suchasni tendentsii rozvitku informatsiinykh tekhnologii v nauksi, osviti ta ekonomitsi"* [Proc. of the Conf. "Modern Trends in Information Technologies in Science, Education and the Economy"]. Lugansk, 2008, pp. 72-74 (in Russian).

27. Moamar D. N., Utkina T. Yu., Shuvalova L. A. Metod verifikatsii strukturno-funktsional'nykh modelei konechnykh avtomatov [The Method Verification of the Structural and Functional Models of Finite Automata]. *Visnik of the Volodymyr Dal East Ukrainian National University*, Lugansk, 2008, vol. 12, no. 130, pp. 88-94 (in Russian).

28. Moamar D. N., Ryabtsev V. G., Utkina T. Yu. Modelirovanie protsessa adaptatsii tekhnologicheskikh operatsii k otkazam ispolnitel'nykh mekhanizmov [Modeling of the Adaptation Process of Technological Operations to the Actuators Failures]. *Radioelectronic and computer systems*, 2009, vol. 5, no. 39, pp. 39-43 (in Russian).

29. Utkina T. Yu., Moamar D. N. Algoritm adaptatsii upravliaiushchei sistemy k otkazam ispolnitel'nykh mekhanizmov [Algorithm of Adaptation of the Control System to Failures of Actuators]. *Materiali I Vseukr. nauk.-tekhn. konf. studentiv, aspirantiv ta molodikh vchenikh "Informatsiini upravliaiuchi sistemi ta komp'iuternii monitoring"* [Proceedings of the 1st All-Ukrainian Scientific-Technical Conf. of Students, Graduate Students and Young Scientists "Information Control Systems and Computer Monitoring"]. Donetsk, Donetsk National Technical University Publ., 2010, pp. 122-126 (in Russian).

Статья поступила 13 января 2016 г.

Информация об авторах

Рябцев Владимир Григорьевич – доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры электротехнологий и электрооборудования в сельском хозяйстве. Волгоградский государственный аграрный университет. Область научных интересов: системы автоматизированного диагностирования полупроводниковых запоминающих устройств, инструментальные средства синтеза тестов для верификации моделей цифровых систем, содержащих встроенную память. Тел.: +7 844 241 16 04. E-mail: akim.onoke@mail.ru

Адрес: 400002, Россия, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.

Уткина Татьяна Юрьевна – кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры специализированных компьютерных систем. Черкасский государственный технологический университет (Украина). Область научных интересов: синтез моделей систем управления автоматизированными процессами, разработка алгоритмов управления цифровыми устройствами, методы и средства повышения надежности микросхем полупроводниковой памяти. Тел.: +38 068 393 01 33. E-mail: utia_chdtu@yahoo.com
Адрес: 18006, Украина, г. Черкассы, бул. Шевченко, д. 460.

Information Technology of Design of Automated Systems Control of Technological Processes

V. G. Ryabtsev, T. Yu. Utkina

Purpose. A common feature of all control processes is that they are informative as any process to achieve the objective requires the collection, processing and transmission of information. The development of computer technology allows faster processing and exchange of information. This reduces the time to perform the transaction with an information resource. The intensity of occurrence of failures increases and there is a loss of information that causes interruptions in the operation of control systems and increases economic costs. Currently remain unresolved problem of increasing the efficiency of the process of constructing models of control systems by improving ways to convert information and increase reliability by adapting technological operations to the failure of the actuators. The purpose of the present paper is to create and develop the information technology of synthesis of models of automated control systems, designed to reduce the complexity of process of construction models by improving methods of transformation information about the system, and the development of methods to increase reliability by adapting technological operations to the failure of the actuators. To reduce the complexity the development of algorithms of digital automata is proposed to apply the structural and functional models that are presented in the form of directed graphs. **Methods.** The methods based on the use the graph theory, logic algebra, theory of digital automata, system analysis, technologies of design software systems, Petri nets, theory of reliability and methods of technical diagnostics. **Novelty.** Novel features of the presented solution are the structural and functional models of digital automata of control actuators that reduce the complexity of development projects control means by transforming the information contained in the sequence diagram into an intermediate form suitable for the synthesis of digital automaton with the help of modern tools. The functional model to adapt control process to possible failures of the actuators also should be referred to novel features. **Results.** Using structural and functional models of digital automata for the synthesis of algorithms of automated control systems allows reducing the duration of the design models of digital automata control of filling and packaging machines. The improved method of modeling algorithms for automated control of filling and packaging machines allows forecasting the effects of technological equipment faults at the stage of debugging algorithms, which also reduces the complexity of troubleshooting. **Practical relevance.** Applying the proposed solution allows reducing technological losses of the package and packed product, as well as improve the quality of the products by reducing the time spent it without proper storage conditions for the repair filling machine and cut company expenses on recycling of production wastes. The implementation of the new technology allows you to convert the information contained in the sequence diagram in an intermediate form suitable for the synthesis of digital automaton with modern tools to evaluate alternative control algorithms and select the most efficient at the design stage of the system without implementing the entire system.

Key words: automated control system, information technology, technological operations, digital automata, structural and functional models, actuators, sequence diagram, filling and packaging machines.

Information about Authors

Vladimir Grigorievich Ryabtsev – Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor. Professor at the Department of Electrotechnologies and electric equipment in agriculture. Volgograd Agricultural State University. Field of research: diagnostics automated systems of the semiconductor memory devices; means of synthesis of tests for verification of models of digital systems containing built-in memory. Tel.: +7 844 241 16 04. E-mail: akim.onoke@mail.ru

Address: Russia, 400002, Volgograd, University pr. 26.

Tetyana Yuriyivna Utkina – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Associate Professor at the Department of Specialize Computer Systems. Cherkasy State Technological University (Ukraine). Field of research: synthesis of models control systems of automated processes; development of control algorithms for digital devices; methods and means of improving the reliability of semiconductor memory chips. Tel.: +38 068 393 01 33. E-mail: utia_chdtu@yahoo.com

Address: Ukraine, 18006, Cherkasy, Shevchenko blvd. 460.