

АЛГОРИТМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПУСКОМ КОТЛОАГРЕГАТА СКД ЭНЕРГОБЛОКА ТЭС

Ткаченко А.В.,

Донецкий национальный технический университет
кафедра автоматики и телекоммуникаций
E-mail: avtkachenko@mail.ru

Tkachenko A.V. Control system of technological operations of launch of thermal power unit with supercritical parameters. Technological operations of launch of thermal power unit proposed to formalize using Petri nets. Petri nets for all five stages of launch are built. Utilization of information given by control block of technological operations to control algorithm of D-3 valve, fuel supply, feeding water and water ejections are shown.

Введение. По данным министерства топлива и энергетики Украины доля выработки электроэнергии тепловыми электростанциями за 2007 год составила в стране 43,2% [1]. С учетом постоянного роста энергопотребления и экспорта электроэнергии, при наличии не используемых мощностей ТЭС, можно сделать прогноз, что ближайшие несколько десятилетий тепловая энергетика будет только увеличивать производимую мощность. Энергоблоки ТЭС Украины, в подавляющем большинстве, оснащены морально и физически устаревшими измерительными приборами и вычислительными устройствами. Актуальной проблемой отрасли является техническая модернизация на основе IBM-совместимых компьютерных комплексов, объединенных в локальные вычислительные сети. В настоящий момент на территории СНГ отсутствуют собственные решения по программному и техническому обеспечению информационно-управляющих систем энергоблоков тепловых ТЭС. В условиях современного энергорынка, энергоблоки СКД экономически целесообразно останавливать на выходные дни недели и производить их пуск в ночь с воскресенья на понедельник. Поэтому процедура пуска выполняется довольно частой и возникает необходимость ее автоматизации. Пуск энергоблока производится в течение 6-10 часов и представляет собой сложную последовательность технологических операций.

Целью статьи является разработка алгоритмов контроля выполнения пусковых технологических операций (ТО) энергоблока, их программная реализация и интеграция в разрабатываемую систему управления.

Система управления пуском котлоагрегата СКД решает следующие задачи управления [2]:

1. Управление клапанами участка встроенных сепараторов (ВС) Д-2 и Д-3,
2. Управление расходом трех видов топлива. Пуск осуществляется с использованием газа или мазута, а затем котел постепенно переводится на сжигание угольно пыли.
3. Управление питательной водой. Расход питательной воды устанавливается исходя из заданной для выработки мощности.
4. Управление различными видами впрысков предназначенных для снижения температуры пароводяной смеси до определенных значений.

Функциональная схема системы приведена на рис. 1.

Основной и наиболее сложной задачей системы является управление расходом топлива. Управление расходом топлива осуществляется при помощи прогностического подхода [3]. С использованием феноменологической модели процесса тепломассопереноса и гидродинамики паровой смеси в топке котлоагрегата прогнозируется изменение температуры среды и на некотором горизонте прогнозирования

$$J(k) = \sum_{i=k}^{k+n-1} (1 + \text{neg}[t_{B3}^n(i) - t_{B3}(i)]) \times (t_{B3}^n(i) - t_{B3}(i))^2 \quad (1)$$

Прогнозируемая температура является функцией от поступающего в топку от сжигаемого топлива тепла и минимизируется ее отклонение от траектории заданной директивным графиком пуска.

$$\min J(Q_T), \quad Q_T \in [Q_T^{\min}, Q_T^{\max}] \quad (2)$$

При ограничениях:

1. Скоростей подъема температур элементов теплотехнического оборудования

$$\frac{dT_i}{dt} \leq C_i, \quad i = 1 \dots m \quad (3)$$

2. На превышения температур элементов теплотехнического оборудования

$$T_i \leq T_i^*, \quad i = 1 \dots n \quad (4)$$

Ограничения (3) (4) вводятся в задачу управления для того чтобы понизить аварийность при пусках, устранив возможность создания аварийных ситуаций при выполнении в директивных графиках пусках.

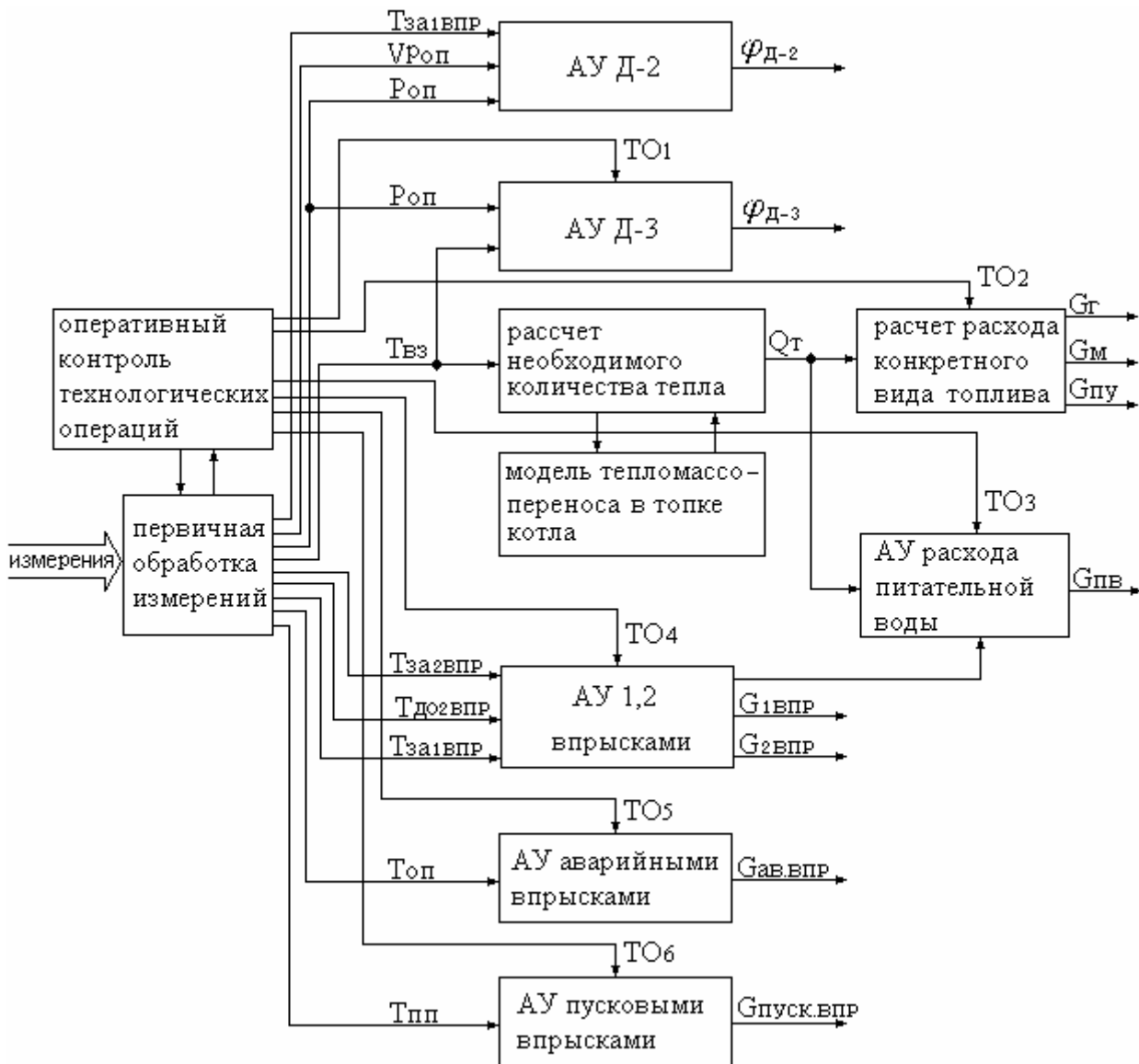


Рисунок 1 – Функциональная схема системы управления.

Формализация технологических операций на основе сетей Петри. Сети Петри – это средство описания последовательных и параллельно выполняемых процессов, которые имеют сложную ветвящуюся структуру [4,5]. Одно из основных достоинств аппарата сетей Петри заключается в том, что они могут быть представлены как в наглядной графической форме, так и в аналитической форме, которая позволяет компьютеризировать процесс их анализа и непосредственного использования в системах управления.

При графической интерпретации сеть Петри представляет собой граф особого вида, состоящий из вершин двух типов – состояний и переходов, соединенных ориентированными дугами. При этом каждая дуга может связать лишь разнотипные вершины (состояние с переходом или переход с состоянием). Вершины состояний обозначаются кружками, вершины-переходы – квадратами. Переходы соответствуют событиям, присущим системе, а позиции – состояниям системы. Таким образом, совокупность переходов, состояний и других дуг позволяет описать причинно-следственные связи, присущие системе. Чтобы сеть Петри “оживила”, вводят еще один вид объектов сети – метки состояний называемые маркерами. Переход считается активным (событие может произойти), если в каждой его входной позиции есть хотя бы один маркер.

В аналитической форме сеть Петри может быть представлена следующим образом:

$$P = (S, T, I, O, M), \tag{5}$$

где $S = \{s_i\}$ – конечное непустое множество состояний;

$T = \{t_i\}$ – конечное непустое множество переходов;

$I: S \times T \rightarrow 0, 1$ – входная функция (прямая функция инцидентности), которая для каждого перехода задает множество его входных состояний;

$O: S \times T \rightarrow 0, 1$ – выходная функция (обратная функция инцидентности), которая для каждого перехода задает множество его выходных состояний;

$M: S \rightarrow 0, 1, 2 \dots$ – функция разметки, ставит каждой позиции сети в соответствие неотрицательное целое число.

Условие возбуждения перехода t_j выглядит следующим образом

$$\forall s_j \in I(t_j), M(s_j) \geq 1 \tag{6}$$

Возбужденный переход t_j срабатывает, если выполняется определяемое им условие.

Срабатывание перехода t_j изменяет разметку сети в $M(S)$ на разметку $M^1(S)$ по следующему правилу:

$$M^1(S) = M(S) - I(t_j) + O(t_j), \tag{7}$$

Технологические операции пуска обладают своими особенностями, которые проявились при описании их сетями Петри. Большинство технологических операций выполняются последовательно, причем не существует альтернативных путей завершения этапа. Однако, есть и такие ТО, которые выполняются параллельно. При описании параллельных ТО сетями Петри необходимо вводить фиктивные состояния и переходы, которые ничего не значат с точки зрения технологических процессов энергоблока и

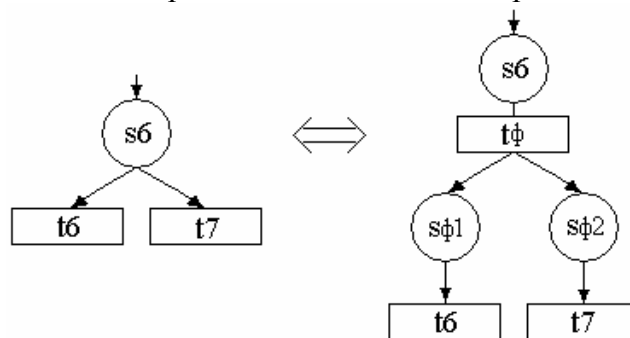


Рисунок 2 – Замена незначущих операций при формализации.

необходимы лишь для выполнения формальных правил работы сетей Петри. Поэтому для удобства эти состояния и переходы не включены в графическое представление сетей. На всех рисунках в местах, где из одного состояния есть несколько переходов, подразумевается, что процесс в этом месте распараллеливается, а не имеет несколько вариантов продолжения (рис. 2).

Сеть Петри для третьего этапа технологических операций графически представлена на рис.3. Состояние s_6 является для нее местом распараллеливания технологического процесса, в нем подразумевается подстановка фиктивных состояний и условий которые показаны на рис.2.

Входная и выходная функции сети Петри для третьего этапа пуска приведены в таблицах 1, 2. В этих таблицах фиктивные состояния и переходы показаны явно и обозначены $s_{\phi 1}$, $s_{\phi 2}$, $t_{\phi 1}$.

Условия срабатывания возбужденных переходов вычисляются в каждый момент

Таблица 1.

Значения входной функции сети Петри для третьего этапа пуска.

	t1	t2	t3	t4	t5	$t_{\phi 1}$	t6	t7	t8	t9	t10	T11
s1	1											
s2		1										
s3			1									
s4				1								
s5					1							
s6						1						
$s_{\phi 1}$							1					
$s_{\phi 2}$								1				
s7									1			
s8										1		
s9											1	
s10											1	
s11												1
s12												

Таблица 2.

Значения выходной функции сети Петри для третьего этапа пуска.

	t1	t2	t3	t4	t5	$t_{\phi 1}$	t6	t7	t8	t9	t10	T11
s1												
s2	1											
s3		1										
s4			1									
s5				1								
s6					1							
$s_{\phi 1}$						1						
$s_{\phi 2}$						1						
s7							1					
s8								1				
s9									1			
s10										1		
s11											1	
s12												1

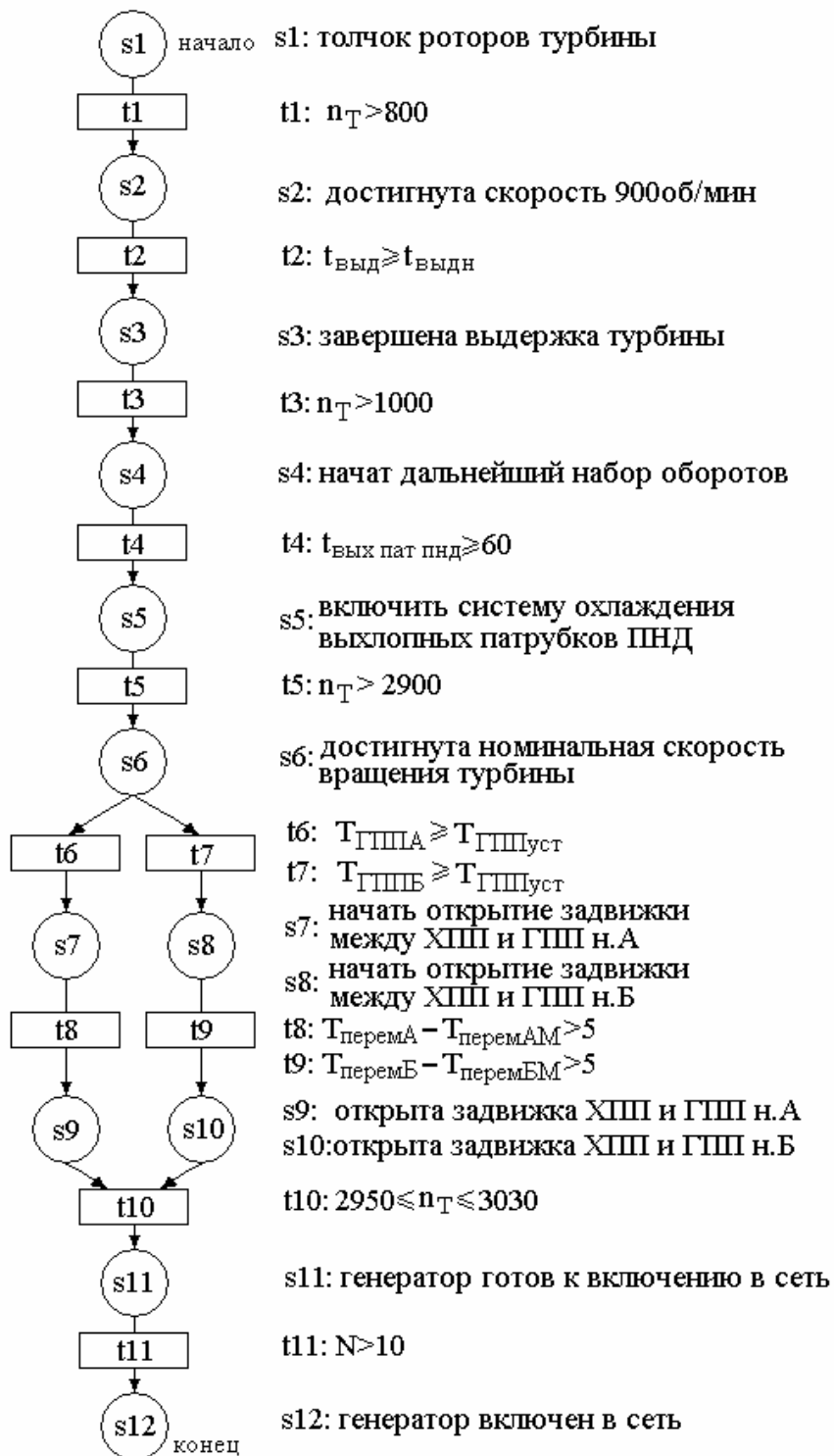


Рисунок 3 – Сеть Петри для технологических операций третьего этапа пуска.

времени поступления информации в систему по соответствующим значениям измерений параметров энергоблока. Некоторые условия требуют более сложной логики вычисления, например условие $t2 : t_{\text{выд}} \geq t_{\text{выдн}}$. Условие t2 обозначает, что турбина должна оставаться на скорости 900 об/мин в течение времени не меньше $t_{\text{выдн}}$. С технологической точки зрения это требование обусловлено наличием резонансных частот турбины, которые должны быть пройдены быстро, при этом прогрев турбины производится при скорости 900 об/мин.

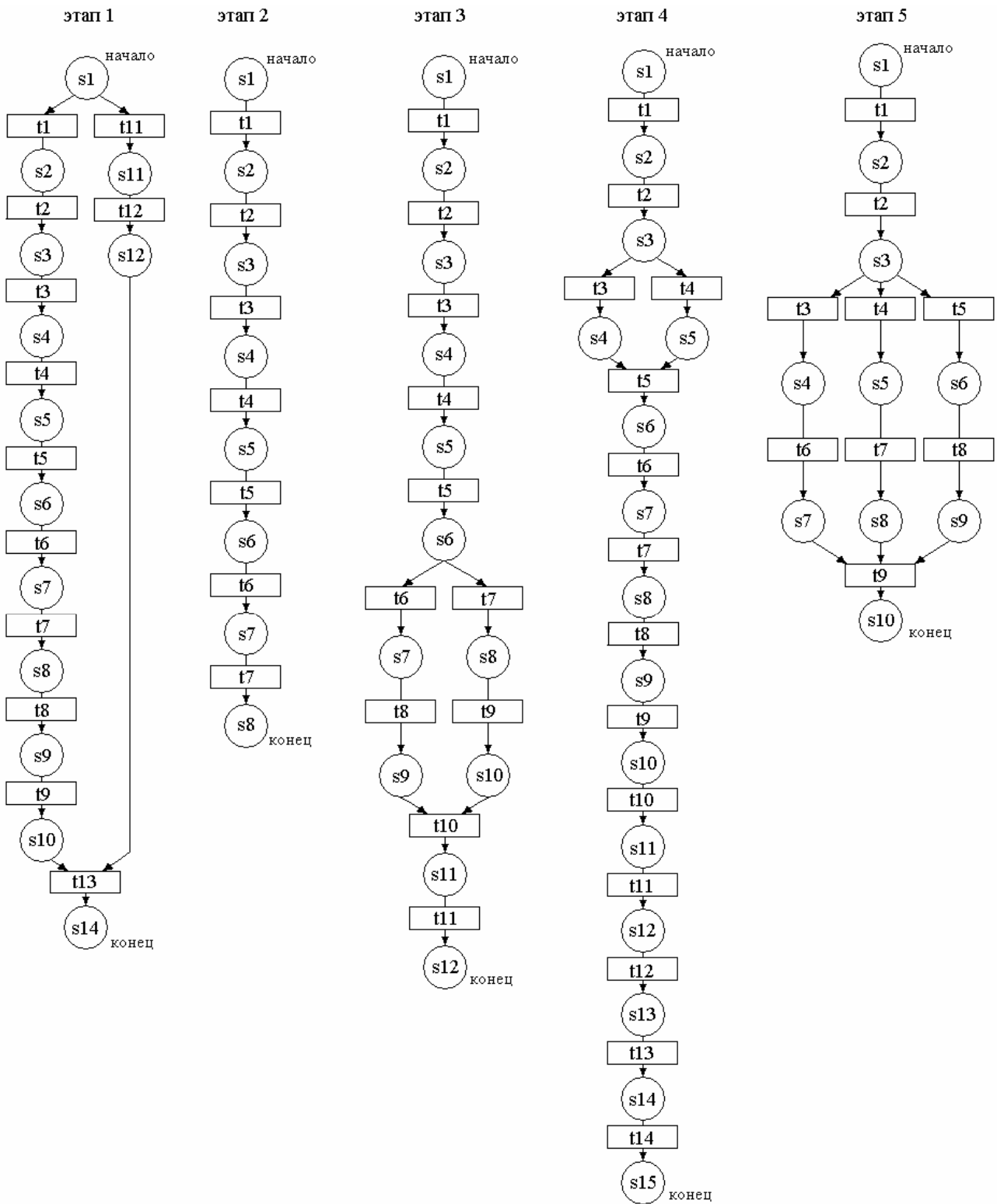


Рисунок 4 – Общий вид сетей Петри для всех этапов пуска.

Система контроля пусковых ТО должна начать вычислять время выдержки $t_{\text{выд}}$ с момента достижения состояния s_2 .

На рис.4 представлены сети Петри для всех пяти этапов пуска энергоблока (условия срабатывания возбужденных переходов не указаны ввиду ограничения на объемы статьи).

Эвристический алгоритм управления клапаном Д-3 при пуске приведен на рис.5.

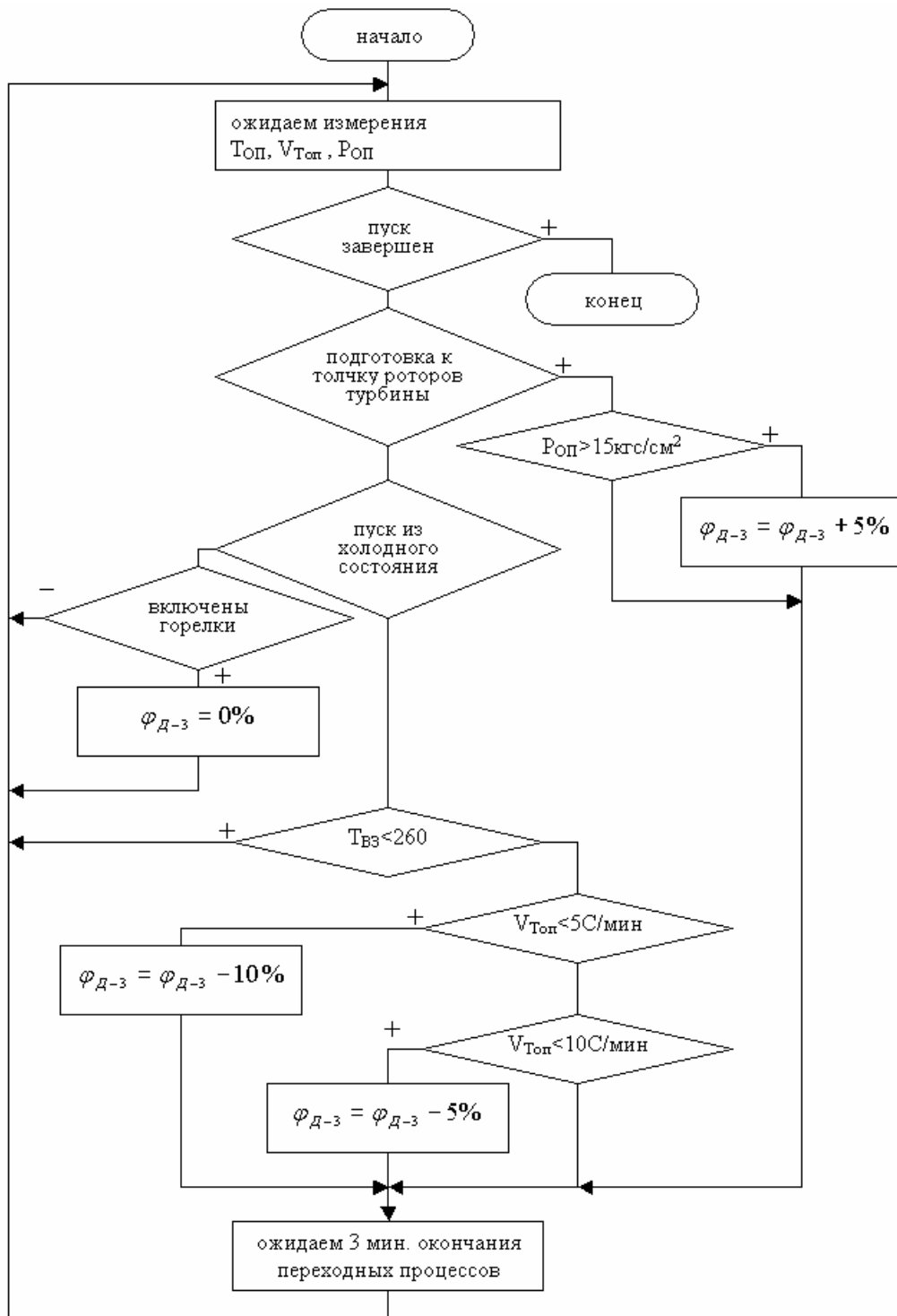


Рисунок 5 – Эвристический алгоритм управления клапаном Д-3.

Клапан первоначально закрыт, его открытие при пуске из холодного состояния производится в один прием сразу после включения горелок. При простоях малой продолжительности открытие начинается при температуре среды перед встроенной задвижкой 260–270 °С, что обеспечивает эффективную работу ВС. Открытие Д-3 осуществляется по 5-10 % с выдержкой в 3 минуты. Основная задача - не допустить скорости роста температуры ОП выше 10°С/мин. Перед толчком роторов турбины, закрытие клапана Д-3 должно быть использовано для понижения давления острого пара до необходимых 10–15 кгс/см².

Рассмотрим связи состояний в разработанных сетях Петри с алгоритмами управления.

1. С эвристическим алгоритмом управления клапаном Д-3:
 - «пуск завершен» – состояние s_{10} 5-ого этапа ;
 - «подготовка роторов к толчку турбины» – состояния s_6 или s_7 2-ого этапа;
 - «включены горелки» – состояние s_1 2-ого этапа.
2. С алгоритмом расчета расхода конкретного топлива:
 - с момента достижения состояния s_8 4ого этапа (начало перевода котла на сжигание угольной пыли), дальнейшее увеличение подаваемого в топку тепла должно осуществляться за счет угольной пыли и будет происходить постепенное снижение расхода растопочного топлива при включении новых пылеугольных горелок.
3. С алгоритмом расхода питательной воды:
 - состояние s_{10} 1-ого этапа означает, что установлен растопочный расход воды 150 т/ч по каждой нитке;
 - с момента достижения состояния s_{10} 4-ого этапа (включен турбопитательный насос), расход воды будет устанавливаться для дальнейшего нагружения блока на скользящих параметрах пара [6].
4. С алгоритмами управления впрысками:
 - впрыск 2 включается с момента достижения состояния s_2 2-ого этапа;
 - впрыск 1 включается с момента достижения состояния s_{10} 4-ого этапа;
 - аварийные впрыски включаются в работу после того, как пройдено состояние s_3 4-ого этапа (включить мельничный вентилятор);
 - пусковые впрыски включаются с момента достижения состояния s_6 2-ого этапа (открыты главная паровая задвижка) и выключаются после включения впрыска 1.

Выводы. Предложена формализация последовательности выполнения технологических операций на основе сетей Петри. Разработаны сети Петри для всех пяти этапов пуска энергоблока. Показано использование информации о состоянии технологических операций при решении задач управления расходом топлива и питательной воды, клапаном Д-3 и различными видами впрысков. Благодаря своей высокой формальности и универсальности сети Петри удобно реализовать в виде специального класса в объектно-ориентированном языке программирования и использовать в программном комплексе системы управления пуском энергоблока.

Литература

1. Аналітична довідка про роботу електроенергетичних підприємств ПЕК за листопад та 12 місяців 2007. – доступна в інтернет по адресу < http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art_id=120581&cat_id=35086 >.
2. Ткаченко А.В. Прогностическое управление пуском котла сверхкритического давления энергоблока ТЭС. // Труды VII международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2008, с. 1814-1825.
3. Джафаров Р.М., Ткаченко А.В. Математическое моделирование тепломассопереноса в топке котлоагрегата при пусковом режиме. // Труды Института прикладной математики и механики, том 12. – Донецьк: ИПММ НАН України. – 2006, с. 46-50.
4. Котов В. Е. Сети Петри. - М.: Наука, 1984. — 158 с.
5. Д. Питерсон. Теория сетей Петри и моделирование систем / Пер. с англ М.В. Горбатовой, Под ред. В.А. Горбатова . — М. : Мир, 1984 . — 264с.
6. Доброхотов В.И., Жгулев Г.В. Эксплуатация энергетических блоков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.