

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №1 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/63TVN215.pdf>

DOI: 10.15862/63TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/63TVN215>)

УДК 007

Окаи Джордж Эссах Яо

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»

Россия, Тверь¹

Аспирант

Пресвитерианский университетский колледж, Гана

Преподаватель

E-mail: okai.george@mail.ru

Богатиков Валерий Николаевич

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»

Россия, Тверь

Доктор технических наук, профессор

E-mail: VNBGTK@mail.ru

Клюшин Александр Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Тверской государственный технический университет»

Россия, Тверь

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: klalex@inbox.ru

Моделирование технологических процессов производства твердых лекарственных форм на основе сети Петри

¹ г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д.22

Аннотация: Целью данной работы является разработка и использование математический аппарат математический аппарат для моделирования системы управления технологическими процессами производства твердых лекарственных форм на основе сети Петри, учитывающей все этапы производства твердых лекарственных форм на фармацевтическом предприятии. Моделирование является одним из основным методом исследований во всех областях знаний и научно обоснованным методом оценок характеристик сложных систем, используемым для принятия решений в различных сферах инженерной деятельности. Для анализа процесса производства твердых лекарственных препаратов остановимся на сетях Петри. Реальные технологические процессы имеют конечную продолжительность, что может быть изображено графически на сетях Петри. В данной статье рассматривается возможность применения сети Петри для моделирования технологическими процессами производства твердых лекарственных форм, а также выделили ряд преимуществ сети Петри в моделировании. В статье описана технологический процесс производства твердых лекарственных форм для большинства фармацевтических препаратов. Также была построена циклограмма работы и составлена структурной формулы для каждая элемента в системе. Описано также синтез управляющих логических устройств(УЛУ) на основе циклограмм и построена бесконтактных управляющих логических устройств.

Ключевые слова: сети Петри; фармацевтическая промышленность; твердая лекарственная форма; система управления производством; моделирование; технологический процесс; циклограмма; производство.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Окаи Джордж Эссах Яо, Богатиков В.Н., Ключин А.Ю. Моделирование технологических процессов производства твердых лекарственных форм на основе сети Петри // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/63TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/63TVN215

Введение

Производство фармацевтических препаратов относится к процессному производству, где каждый технологический процесс представляет собой последовательность технологических операций, каждая из которых не может быть прервана в произвольный момент времени. Поэтому очень важно разработать модель все процессы производства и рабочий цикл оборудования, чтобы понять, как они работают для повышения эффективности, результативности и улучшения всего процесса производство фармацевтических препаратов.

Моделирование является основным методом исследований во всех областях знаний и научно обоснованным методом оценок характеристик сложных систем, используемым для принятия решений в различных сферах инженерной деятельности. Существующие и проектируемые системы можно эффективно исследовать с помощью математических моделей (аналитических и имитационных), реализуемых на современных ЭВМ, которые в этом случае выступают в качестве инструмента экспериментатора с моделью системы [9]. В настоящее время по технологии моделирования и области применения выделяют такие основные виды моделирования: статистическое моделирование, информационное моделирование, математическое моделирование, компьютерное моделирование и др.

Целью данной работы является разработка и использование математический аппарат для моделирования системы управления технологическими процессами производства твердых лекарственных форм на основе сети Петри, учитывающей все этапы производства твердых лекарственных форм на фармацевтическом предприятии; учитывающей не только порядок выполнения действий, но также временные характеристики, построение временной сети Петри, моделирующей процесс производства твердых лекарственных форм на фармацевтическом предприятии.

Сети Петри (СП) – математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем. Впервые описаны Карлом Петри в 1962 году. Большинство экспертов считают СП один из современных и наиболее эффективных средств графического и математического моделирования систем самых различных классов [3]. СП является мощным инструментом для описания систем, использующих параллелизм, синхронизацию и разделяемые ресурсы, и в том числе промышленных производств, с целями координации процессов и принятия оперативных решений по управлению ими. СП являются расширением классической теории графов. Теория СП делает возможной спецификацию системы математическим представлением, анализ которой помогает получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы[2, 3].

В настоящее время выделяют такие основные виды сетей Петри: временная СП, стохастическая СП, функциональная СП, цветная СП, ингибиторная СП и иерархическая СП.

Выделяют ряд преимуществ СП в моделировании: понятность модели, возможность проведения анализа с помощью вычислительной техники, возможность иерархического моделирования, а также высокий уровень формализации дискретно-событийных систем. Следует заметить, что в последнее время интерес к СП значительно возрос [1].

1. Технологический процесс производства твердых лекарственных форм

Технологический процесс производства твердых лекарственных форм для большинства фармацевтических препаратов состоит из следующих операций: взвешивание исходного материала; приготовление связующего; смешивание исходной массы со связующим; влажного гранулирования; сушки; сухого гранулирования; опудривания; таблетирования; фасовки и упаковки [4,5].

Технологический процесс изготовления лекарственных препаратов, включает несколько стадий. Первой стадией для всех лекарственных форм являются подготовительные работы, заключающиеся в подготовке помещения, вспомогательных материалов, оборудования, упаковочных средств, лекарственных и вспомогательных веществ. После подготовительных работ последовательно осуществляются стадии технологического процесса в соответствии с особенностью лекарственной формы, с контролем на каждой стадии. Технологический процесс заканчивается упаковкой [7]. Разработанная Технологическая схема производства твердых лекарственных форм показана на рисунке 2.

Технологический процесс производства твердых лекарственных форм можно разделить на четыре основных технологических этапа: Этап подготовки порошков; Этап получения массы для лекарственной формы; Этап получения готовой лекарственной формы; Этап фасовки и упаковки. На каждом этапе производственного процесса используется определенный тип оборудования [6]. Разработанная классификационная схема показана на рисунке 1.

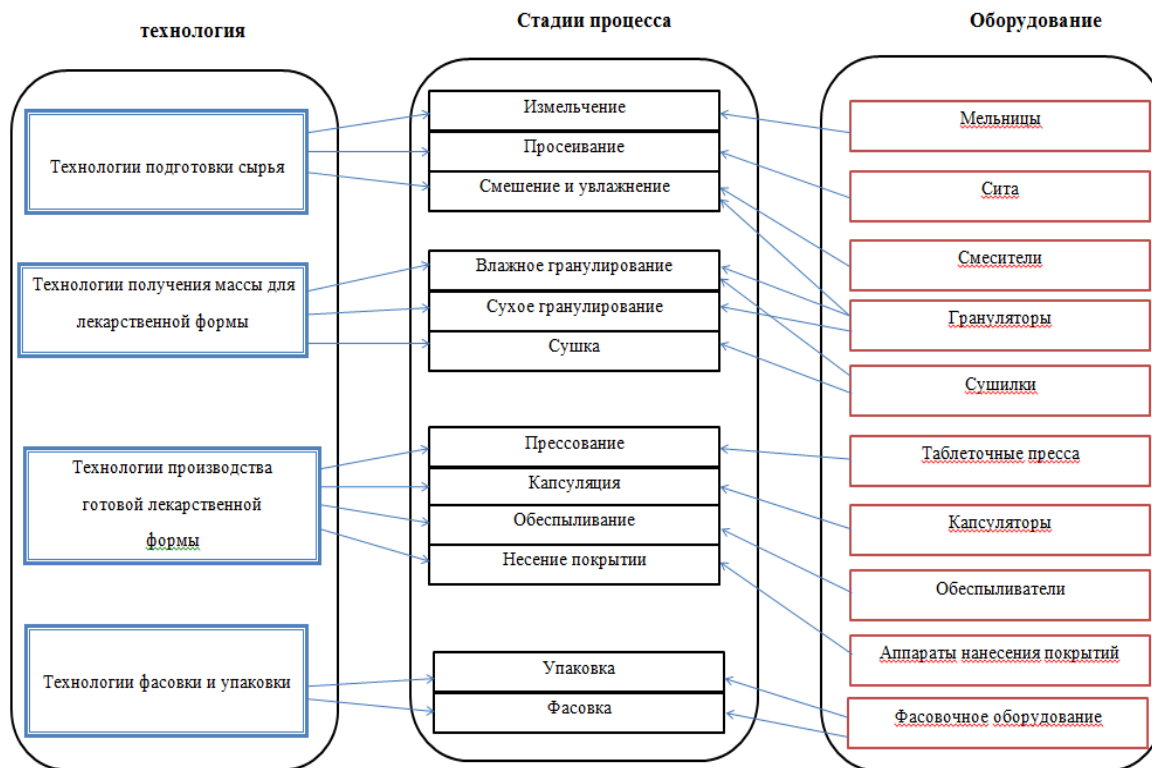


Рис. 1. Технологии и оборудование применяемые при производстве твердых лекарственных форм (разработано авторами)

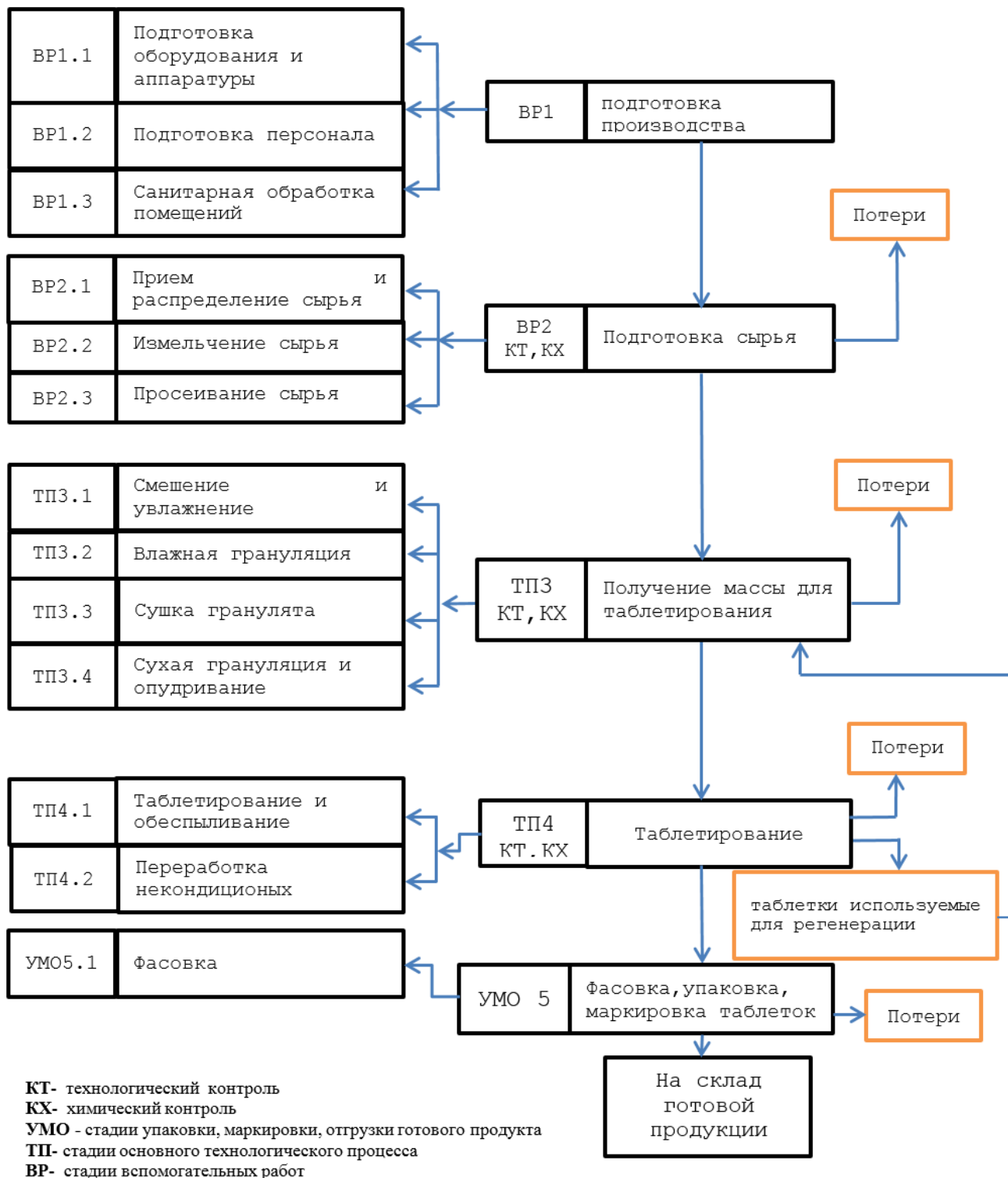


Рис. 2. Технологическая схема производства производства твердых лекарственных форм (разработано авторами)

2. Синтез управляющих логических устройств(УЛУ) на основе циклограмм

2.1. Разработка циклограммы процесса производства твердых лекарственных форм

Метод структурного синтеза на основе циклограмм является развитием известного в инженерной практике метода синтеза. Циклограмма представляет собой графическое изображение последовательности работы механизмов станка во времени. Работа элемента и наличие соответствующего этому элементу сигнала изображается на циклограмме отрезком горизонтальной прямой. В циклограмме время не оценивается количественно, поэтому она выполняется без масштаба. Отмечается лишь факт срабатывания элемента, факт наличия или отсутствия сигнала. Воздействие одного элемента на другой изображается на циклограмме стрелкой, указывающей направление воздействия. На циклограмме отображается любое изменение состояния элементов и указывается собственное время срабатывания отдельных оборудования [10].

Обозначения оборудование на циклограмме и их функциональное назначение представлены в таблице 1. Разработанная циклограмма показана на рисунке 3.

Таблица 1

Обозначения оборудование на циклограмме
(разработано авторами)

Входные элементы		
N	обозначение	Назначение
1	a ₁	Сигнал от кнопка(пуск) мельница
2	a ₂	Сигнал от кнопка(стоп) мельница
3	b ₁	Сигнал от кнопка(пуск) сита
4	b ₂	Сигнал от кнопка(стоп) сита
5	c ₁	Сигнал от кнопка(пуск) смесителя
6	c ₂	Сигнал от кнопка(стоп) смесителя
7	d ₁	Сигнал от кнопка(пуск) гранулятора
8	d ₂	Сигнал от кнопка(стоп) гранулятора
9	e ₁	Сигнал от кнопка(пуск) сушилки
10	e ₂	Сигнал от кнопка(стоп) сушилки
11	g ₁	Сигнал от кнопка(пуск) таблеточные пресса
12	g ₂	Сигнал от кнопка(стоп) таблеточные пресса
13	h ₁	Сигнал от кнопка(пуск) фасовочное оборудование
14	h ₂	Сигнал от кнопка(стоп) фасовочное оборудование
Выходные элементы		
1	W	Подготовка сырья
2	X	Получение массы для таблетирования
3	Y	Таблетирование
4	Z	Фасовка

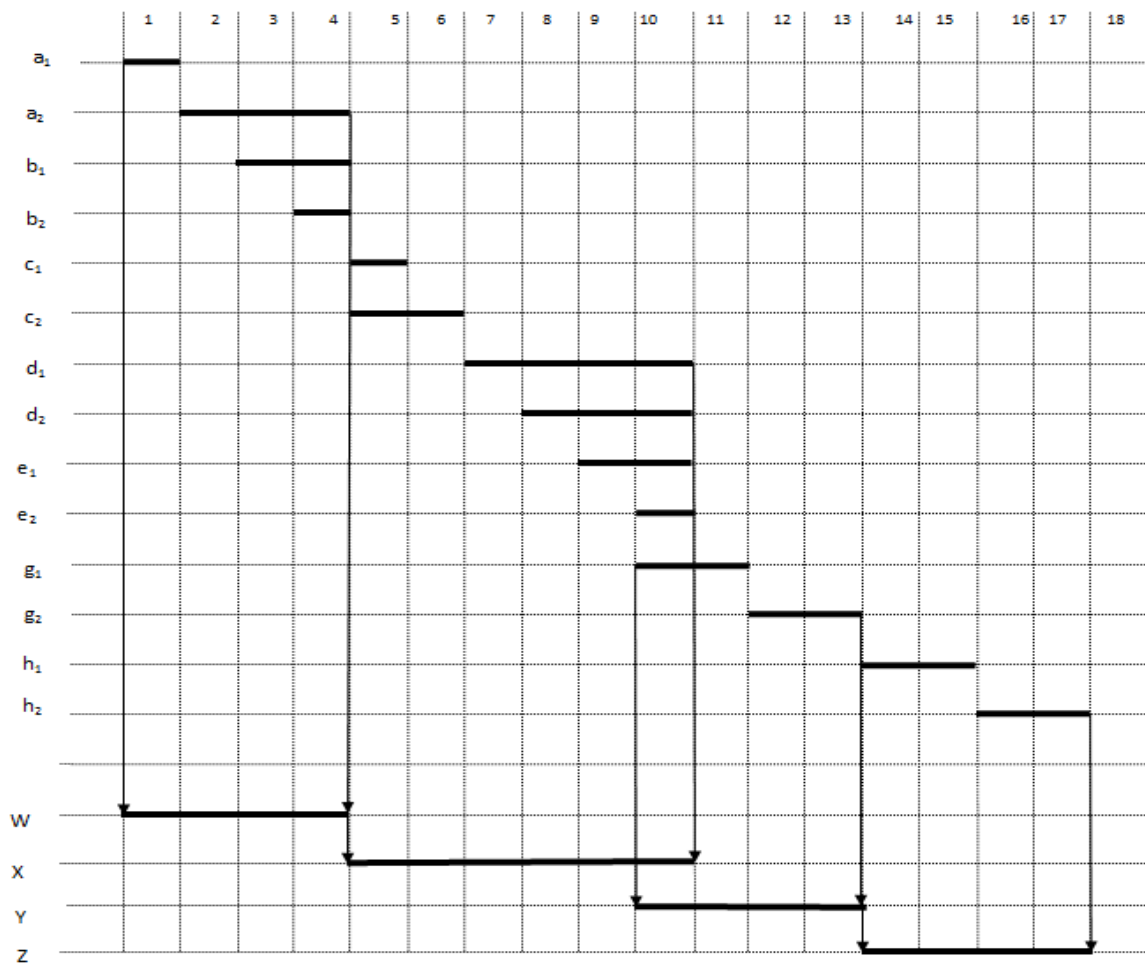


Рис. 3. Циклограмма процесса производства твердых лекарственных форм (разработано авторами)

2.2. Реализация схемы управления на бесконтактных логических элементах

Для получения структурной формулы элемента определяют условия его срабатывания и несрабатывания. Иногда бывает недостаточным для обеспечения работы устройства по данной циклограмме введение только основных в условия срабатывания $f'(x)$ и несрабатывания $f''(x)$. В этих случаях приходится вводить промежуточные элементы. Для определения такой необходимости проводят три проверки реализуемости циклограммы [10].

Первая проверка заключается в анализе того, существуют ли записанные ранее условия срабатывания $f'(x)$ в течение всего включающего периода. Если функция $f'(x)$ неизменна, в этом случае условия срабатывания для данного периода включения являются достаточными. Если же функция $f'(x)$ изменяет свое значение в течение включающего периода, то необходимо в схему ввести дополнительный элемент P' [10].

Вторая проверка заключается в анализе, того существуют ли записанные ранее условия несрабатывания $f''(x)$ в течение всего включающего периода. Если функция $f''(x)$ неизменна, в этом случае условия несрабатывания для данного периода включения являются достаточными. Если же функция $f''(x)$ изменяет свое значение в течение включающего периода, то необходимо в схему ввести дополнительный элемент P'' [10].

Третья проверка предназначена для контроля того, чтобы после отключения выходного элемента не создались вновь условия для его повторного (неправильного) включения. Если в отключающем периоде появляется одна из комбинаций, то в эту комбинацию должен быть включен еще хотя бы один дополнительный элемент P''' [10].

Структурная формула для одного периода включения какого либо исполнительного или промежуточного элемента имеет вид :

$$X = f' \cdot \overline{f''} \quad (1)$$

где f' - условие срабатывания, $\overline{f''}$ - условие несрабатывания.

a. Составление структурной формулы для элемента W

У элемента W имеется один период включения. Структурная формула для его периода включения:

Условие срабатывания:

$$f'_{1(w)} = a_1 \quad (2)$$

Условие несрабатывания:

$$\overline{f''_{1(w)}} = \overline{a_2 + \overline{b_1} + \overline{b_2} + c_1 + c_2} = a_2 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \overline{c_1} \cdot \overline{c_2} \quad (3)$$

Структурная формула:

$$W = f'(y) \cdot \overline{f''(y)} = a_1 \cdot a_2 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \overline{c_1} \cdot \overline{c_2} \quad (4)$$

Первая проверка: функция $f'(w) = a_1$ изменяет свое состояние во включающем периоде W, поэтому вводится самоблокировка:

$$W = f'(w) + w \cdot \overline{f''(w)} = a_1 + w \cdot a_2 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \overline{c_1} \cdot \overline{c_2}$$

Вторая проверка: условие несрабатывания $\overline{f''(w)} = a_2 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \overline{c_1} \cdot \overline{c_2}$ не изменяется в течение всего включающего периода, следовательно, это условие несрабатывания является достаточным для данного периода включения и дополнительный элемент не требуется.

Третья проверка: ни одна из комбинаций в выражении $W = a_1 + w \cdot a_2 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \overline{c_1} \cdot \overline{c_2}$ не встречается в отключающем периоде W, следовательно, дополнительный элемент не требуется.

Окончательно структурная формула имеет вид:

$$W = a_1 + w \cdot a_2 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \overline{c_1} \cdot \overline{c_2} \quad (5)$$

б. Составление структурной формулы для элемента ХУ элемента **X** имеется один период включения. Структурная формула для его периода включения:

Условие срабатывания:

$$f'_{1(X)} = \overline{a_2} \cdot \overline{b_1} \cdot \overline{b_2} \cdot c_1 \cdot c_2 \quad (6)$$

Условие несрабатывания:

$$f''_{1(X)} = \overline{\overline{d_1 + d_2 + e_1 + e_2}} = d_1 \cdot d_2 \cdot e_1 \cdot e_2 \quad (7)$$

Структурная формула:

$$X = (\overline{a_2} \cdot \overline{b_1} \cdot \overline{b_2} \cdot c_1 \cdot c_2) \cdot (d_1 \cdot d_2 \cdot e_1 \cdot e_2) \quad (8)$$

Первая проверка: функция изменяет свое состояние во включающем периоде X, поэтому вводится самоблокировка:

$$X = (\overline{a_2} \cdot \overline{b_1} \cdot \overline{b_2} \cdot c_1 \cdot c_2) + x \cdot (d_1 \cdot d_2 \cdot e_1 \cdot e_2)$$

Вторая проверка: условие несрабатывания $\overline{f''_{1(X)}} = \overline{d_1 + d_2 + e_1 + e_2} = d_1 \cdot d_2 \cdot e_1 \cdot e_2$ не изменяется в течение всего включающего периода, следовательно, это условие несрабатывания является достаточным для данного периода включения и дополнительный элемент не требуется.

Третья проверка: ни одна из комбинаций в выражении $X = (\overline{a_2} \cdot \overline{b_1} \cdot \overline{b_2} \cdot c_1 \cdot c_2) + x \cdot (d_1 \cdot d_2 \cdot e_1 \cdot e_2)$ не встречается в отключающем периоде X следовательно, дополнительный элемент не требуется.

Окончательно структурная формула имеет вид:

$$X = (\overline{a_2} \cdot \overline{b_1} \cdot \overline{b_2} \cdot c_1 \cdot c_2) + x \cdot (d_1 \cdot d_2 \cdot e_1 \cdot e_2) \quad (9)$$

с. Составление структурной формулы для элемента Y

У элемента Y имеется один период включения. Структурная формула для его периода включения:

Условие срабатывания:

$$f_{1(y)}' = g_1 \quad (10)$$

Условие несрабатывания:

$$\overline{f_{1(y)}''} = \overline{g_2 + h_1} = g_2 \cdot \overline{h_1} \quad (11)$$

Структурная формула:

$$Y = g_1 \cdot g_2 \cdot \overline{h_1} \quad (12)$$

Первая проверка: функция изменяет свое состояние во включающем периоде Y , поэтому вводится самоблокировка:

$$Y = g_1 + y \cdot g_2 \cdot \overline{h_1}$$

Вторая проверка: условие несрабатывания $\overline{f_{1(y)}''} = \overline{g_2 + h_1} = g_2 \cdot \overline{h_1}$ не изменяется в течение всего включающего периода, следовательно, это условие несрабатывания является достаточным для данного периода включения и дополнительный элемент не требуется.

Третья проверка: ни одна из комбинаций в выражении $Y = g_1 + y \cdot g_2 \cdot \overline{h_1}$ не встречается в отключающем периоде Y следовательно, дополнительный элемент не требуется.

Окончательно структурная формула имеет вид:

$$Y = g_1 + y \cdot g_2 \cdot \overline{h_1} \quad (13)$$

d. Составление структурной формулы для элемента Z

У элемента Z имеется один период включения. Структурная формула для его периода включения:

Условие срабатывания:

$$f_1'(z) = \overline{g_2} \cdot h_1 \quad (14)$$

Условие несрабатывания:

$$\overline{f_1(z)} = h_2 \quad (15)$$

Структурная формула:

$$Z = \overline{g_2} \cdot h_1 \cdot h_2 \quad (16)$$

Первая проверка: функция $f_1(z)$ изменяет свое состояние во включающем периоде Z , поэтому вводится самоблокировка:

$$Z = \overline{g_2} \cdot h_1 + z \cdot h_2$$

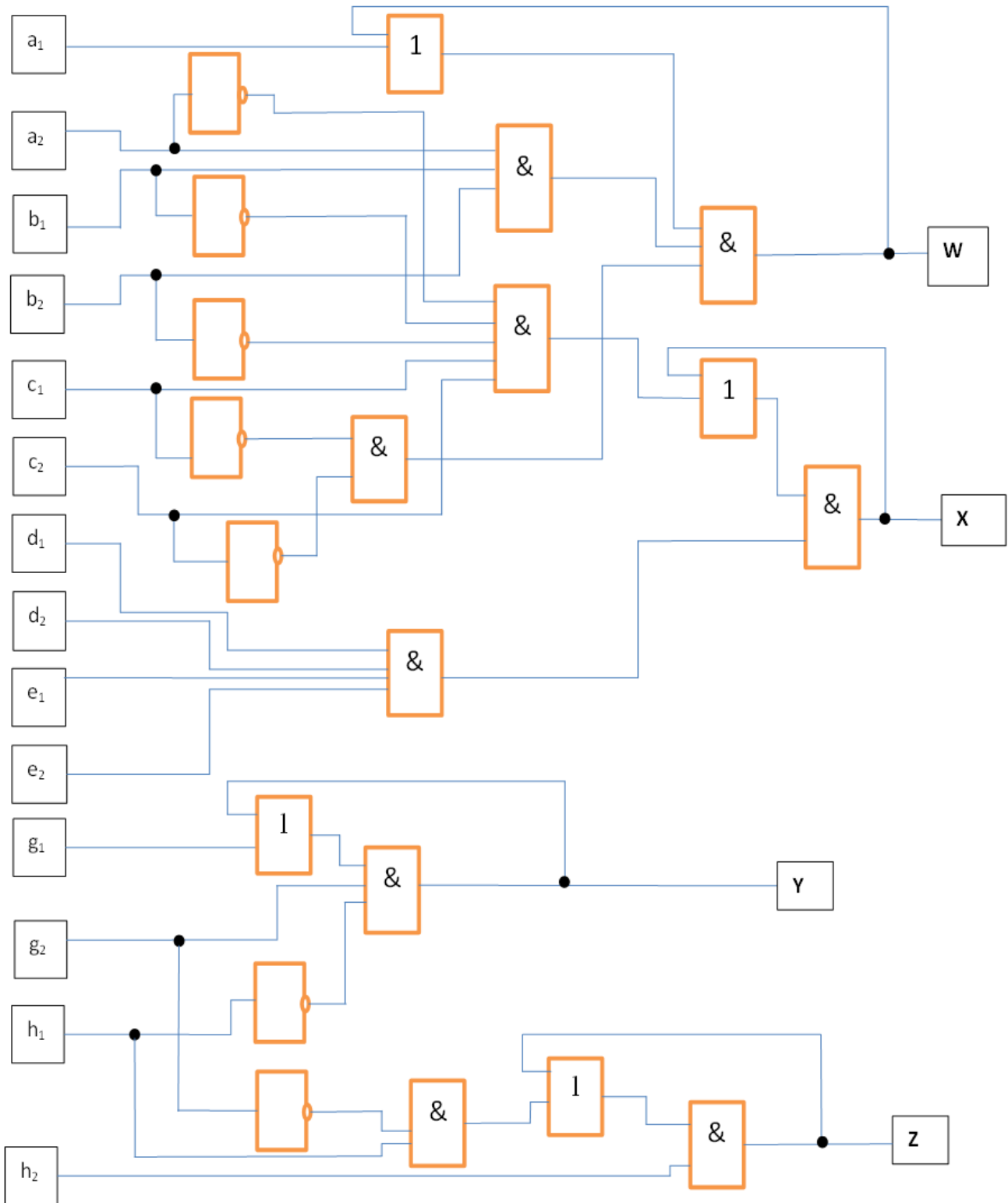
Вторая проверка: условие несрабатывания $\overline{f_1(z)} = h_2$ не изменяется в течение всего включающего периода, следовательно, это условие несрабатывания является достаточным для данного периода включения и дополнительный элемент не требуется.

Третья проверка: ни одна из комбинаций в выражении $Z = \overline{g_2} \cdot h_1 + z \cdot h_2$ не встречается в отключающем периоде Y следовательно, дополнительный элемент не требуется.

Окончательно структурная формула имеет вид:

$$Z = \overline{g_2} \cdot h_1 + z \cdot h_2 \quad (17)$$

Ниже на рисунке 4 представлена Функциональная схема для выходных параметров **W, X, Y** и **Z** и полная функциональная схема с моделями циклограмм для выходных параметров.



*Рис. 4. Функциональная схема УЛУ
(разработано авторами)*

3. Построение сети Петри

Для анализа процесса производства твердых лекарственных препаратов остановимся на сетях Петри с временными ограничениями. Реальные технологические процессы имеют конечную продолжительность, что может быть изображено графически на временных графиках. Поскольку для химиков-технологов, разрабатывающих системы периодического действия и гибкие автоматизированные производственные системы, аппарат сетей Петри известен мало [8].

Графически сеть Петри обозначается следующим образом. Позиции изображаются кружками, переходы — утолщенными черточками (барьерами), разметка — точками внутри кружков, причем допускается любое число точек внутри кружка.

Временная сеть Петри (ВСП) — это двудольный ориентированный граф, дополненный характеристиками дуг и вершин, которые представлены натуральными числами [2,11].

$$N_{\tau} = (P, T, F, M_0, \tau', \tau'') \quad (18)$$

где $P = \{p_i\}$ – множество позиций; $T = \{t_j\}$ – множество переходов

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ - конечное множество дуг (функция индентичности)

$M_0, P \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$ - начальная разметка (маркирование) сети

$\tau' = \{ \tau'_1, \tau'_2, \dots, \tau'_j \}$ - множество времен минимальной задержки для переходов

$\tau'' = \{ \tau''_1, \tau''_2, \dots, \tau''_j \}$ - множество времен максимальной задержки для переходов

Сети Петри применяют, главным образом, для моделирования так называемых интерактивных операций или взаимодействий, когда в операции принимает участие несколько (не менее двух) технологических аппаратов. Моделирование взаимодействий выполняют с целью выявления дополнительных ресурсов системы, обнаружения конфликтных ситуаций для последующего управления процессом взаимодействия аппаратов. Однако сетями Петри можно успешно моделировать и более простые, например, последовательные процессы в аппаратах периодического действия. Конечно, сеть Петри моделирует не сами технологические процессы, а лишь их последовательность, как результат выполнения некоторых условий [8].

Временные сети Петри являются одним из известных расширений базовых сетей Петри используемым для моделирования систем и процессов, при анализе которых необходимо учитывать не только порядок выполнения действий, но также временные характеристики. Такие сети находят широкое применение при исследовании систем технологического и организационного управления.

Определим технологические операции (условия) для моделирования с использованием сетей Петри, представлена в виде таблицы (Таблица 2).

Таблица 2

Определение технологических операций (условия)
(разработано авторами)

№	Технологические операции	Обозначение операции
1	На входе в мешалка имеется партия сырья	O ₁
2	Мешалка свободен (пуст) и находится в режиме ожидания	O ₂
3	В мешалке происходит технологический процесс (<i>Измельчение</i>)	O ₃
4	Партия продукта выгружена из мешалка в хранилище и находится в нем	O ₄
5	На входе в сита имеется партия сырья от мешалки	O ₄
6	Сита свободен (пуст) и находится в режиме ожидания	O ₅
7	В Сита происходит технологический процесс (<i>Просеивание</i>)	O ₆
8	Партия перерабатываемого сырья выгружена из сита в хранилище и находится в нем	O ₇
9	На входе в смесители имеется партия сырья от Сита	O ₇
10	Смесители свободен (пуст) и находится в режиме ожидания	O ₈
11	В смесители происходит технологический процесс (<i>Смешение и Увлажнение</i>)	O ₉
12	Партия перерабатываемого сырья выгружена из смесители в хранилище и находится в нем	O ₁₀
13	На входе в гранулятора имеется партия сырья от смесители	O ₁₀
14	Гранулятор свободен (пуст) и находится в режиме ожидания	O ₁₁
15	В Грануляторе происходит технологический процесс (<i>Влажное гранулирование</i>)	O ₁₂
16	Партия влажных гранул выгружена из гранулятора в хранилище и находится в нем	O ₁₃
17	На входе в сушилка имеется партия влажных гранул выгружена из гранулятора	O ₁₃
18	Сушилка свободен (пуст) и находится в режиме ожидания	O ₁₄
19	В Сушилке происходит технологический процесс (<i>Сушка</i>)	O ₁₅
20	Партия сухих гранул выгружена из сушилки в хранилище и находится в нем	O ₁₆
21	На входе в таблеточные пресса имеется партия сухих гранул выгружена из сушилки	O ₁₆
22	Таблеточные пресса свободен (пуст) и находится в режиме ожидания	O ₁₇
23	В таблеточные пресса происходит технологический процесс (<i>Прессование</i>)	O ₁₈
24	Партия таблеток выгружена из таблеточного пресса в хранилище и находится в нем	O ₁₉
25	На входе в Фасовочное оборудование партия таблеток выгружена из таблеточного пресса	O ₁₉
26	Фасовочное оборудование свободен (пуст) и находится в режиме ожидания	O ₂₀
27	В Фасовочное оборудование, процессы расфасовки и упаковки производится	O ₂₁
28	Партия упакованных таблеток выгружена из Фасовочное оборудование в хранилище и находится в нем	O ₂₂

Определим состояния: начало технологического процесса и окончание технологического процесса. Составим таблицу входных и выходных условий (Таблица 3).

Таблица 3

Входные и выходные условия
(разработано авторами)

Аппарат	Состояние системы (события)	Входные условия (операции)	Выходные условия (операции)
Мешалка	S ₁ -(начало ТП)	O ₁ , O ₂	O ₃
	S ₂ -(окончание ТП)	O ₃	O ₂ , O ₄
Сита	S ₃ -(начало ТП)	O ₄ , O ₅	O ₆
	S ₄ -(окончание ТП)	O ₆	O ₅ , O ₇
Смесители	S ₅ -(начало ТП)	O ₇ , O ₈	O ₉
	S ₆ -(окончание ТП)	O ₉	O ₈ , O ₁₀
Гранулятор	S ₇ -(начало ТП)	O ₁₀ , O ₁₁	O ₁₂
	S ₈ -(окончание ТП)	O ₁₂	O ₁₁ , O ₁₃
Сушилка	S ₉ -(начало ТП)	O ₁₃ , O ₁₄	O ₁₅
	S ₁₀ -(окончание ТП)	O ₁₅	O ₁₄ , O ₁₆
Таблеточные пресса	S ₁₁ -(начало ТП)	O ₁₆ , O ₁₇	O ₁₈
	S ₁₂ -(окончание ТП)	O ₁₈	O ₁₇ , O ₁₉
Фасовочное оборудование	S ₁₃ -(начало ТП)	O ₁₉ , O ₂₀	O ₂₁
	S ₁₄ -(окончание ТП)	O ₂₁	O ₂₀ , O ₂₂

Таблица 4

Сеть Петри
(разработано авторами)

Аппарат	Состояние системы (события)	Входные условия (операции)	Выходные условия (операции)
Мешалка	t ₁	P ₁ , P ₂	P ₃
	t ₂	P ₃	P ₂ , P ₄
Сита	t ₃	P ₄ , P ₅	P ₆
	t ₄	P ₆	P ₅ , P ₇
Смесители	t ₅	P ₇ , P ₈	P ₉
	t ₆	P ₉	P ₈ , P ₁₀
Гранулятор	t ₇	P ₁₀ , P ₁₁	P ₁₂
	t ₈	P ₁₂	P ₁₁ , P ₁₃
Сушилка	t ₉	P ₁₃ , P ₁₄	P ₁₅
	t ₁₀	P ₁₅	P ₁₄ , P ₁₆
Таблеточные пресса	t ₁₁	P ₁₆ , P ₁₇	P ₁₈
	t ₁₂	P ₁₈	P ₁₇ , P ₁₉
Фасовочное оборудование	t ₁₃	P ₁₉ , P ₂₀	P ₂₁
	t ₁₄	P ₂₁	P ₂₀ , P ₂₂

Описанная ситуация моделируется сетью Петри, которую представлена в виде таблицы (табл. 4) и ее графическим изображением (рис. 5). Как видно из табл. 3, устанавливается взаимно однозначное соответствие между технологическими операциями и позициями сети, а также между состояниями аппарата и переходами сети:

$$\{O\} \leftrightarrow \{P\};$$

$$\{S\} \leftrightarrow \{t\}$$

$$\{\text{Технологическая операции}\} \leftrightarrow \{\text{Позиция}\};$$

$$\{\text{Состояния аппарата}\} \leftrightarrow \{\text{Переход сети}\}$$

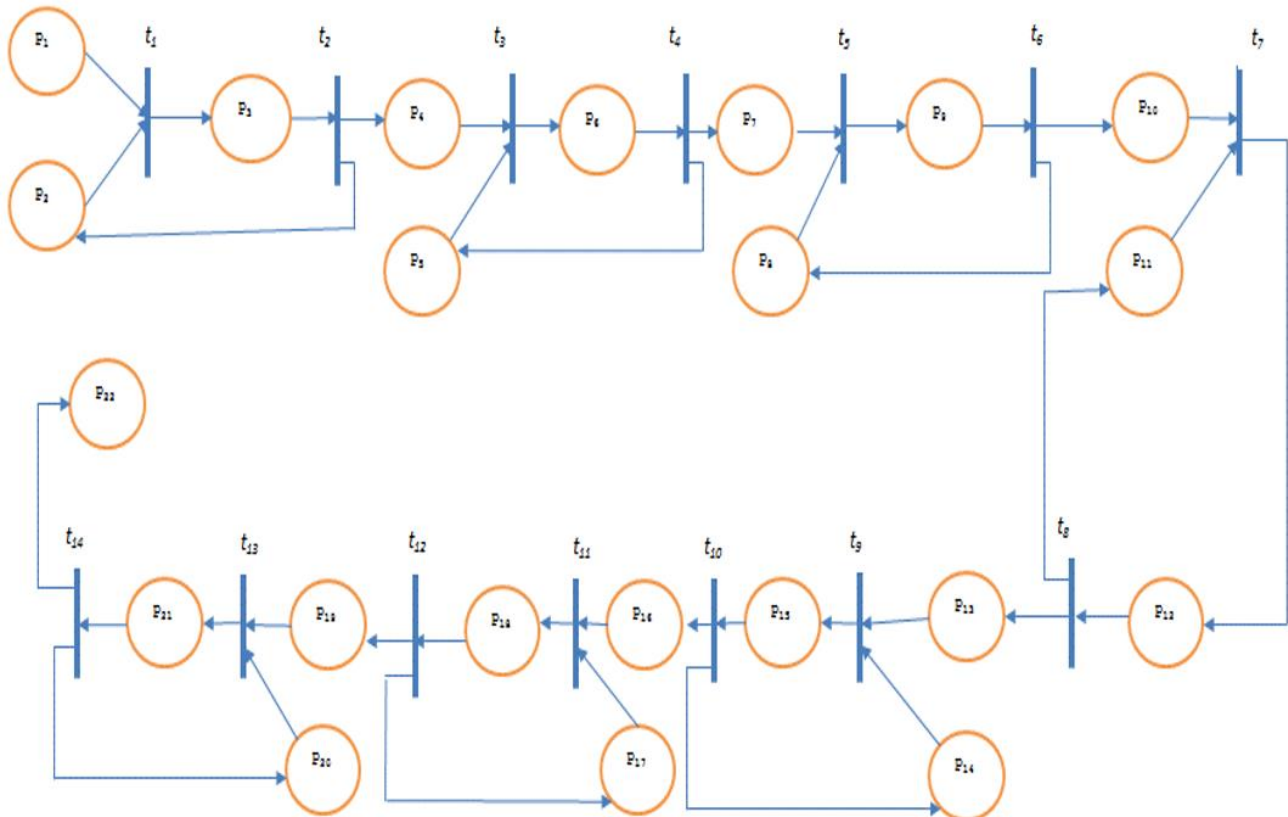


Рис. 5. Сеть Петри, моделирующая технологический процесс производства твердых лекарственных форм (разработано авторами)

Выводы

Статья посвящена моделирование системы управления технологическими процессами производства твердых лекарственных форм на основе сети Петри. В этой статье было показано, что сети Петри являются простой, но эффективный метод анализа производственных систем. Сети Петри, в основном, используется для моделирования из-за простоты в понимании модели, а также их анализа. Моделирование процесс производства лекарственных препаратов, решение задача управления технологическими процессами производства и управление всех компонентов процесса производства препаратов позволит оптимизировать использование ресурсов на фармацевтическом предприятии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.В., Кузьмук В.В. Сети Петри, параллель-ные алгоритмы и модели мультипроцессорных систем. К.: Наукова Думка, 1990. 216 с.
2. Котов, В.Е. Сети Петри [Текст] / В.Е. Котов. – М.: Наука, 1984.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем; [пер. с англ. М.В. Горбатовой, В.Н. Торхова, В.Н. Чет-верикова]. М.: Мир, 1984. 264 с.
4. Погорелов В.И. Фармацевтическая технология. Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 467 с.
5. Ажгихин И.С., Гандель В.Г. Избранные лекции, по курсу технологии лекарств заводского производства. М., 1972. ч. 2". 189 с.
6. Сидоркин О.В. Гибридные системы поддержки принятия решений для химико-фармацевтической отрасли: дис. ... канд. техн. наук. М., 2007.
7. Таптунов, В. Н. Интеллектуальная система информационной поддержки выбора технологических схем производства твердых лекарственных препаратов. дисс. кан. техн. наук: 05.13.01 В. Н. Таптунов. – РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, 2012. – 148 с.
8. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности/ В.В. Кафаров, В.В. Макаров. – М.: Химия, 1990. – 320 с.
9. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
10. Грейнер, Г. Р. и др. Проектирование бесконтактных управляющих логических устройств промышленной автоматики. – М.: Энергия. 1997 – 384 с.
11. Зайцев, Д.А. Инварианты временных сетей Петри [Текст] / Д.А. Зайцев // Кибернетика и системный анализ. – 2004. – №2. – С. 92 – 106.

Рецензент: Калабин Александр Леонидович. Д.Ф-М.Н. профессор, зав. кафедрой программное обеспечение вычислительной техники, Тверского государственного технического университета.

George Essah Yaw Okai

Tver State Technical University
Russia, Tver
Presbyterian University College, Ghana
E-mail: okai.george@mail.ru

Valery Bogatikov Nikolayevich

Tver State Technical University
Russia, Tver
E-mail: VNBGTK@mail.ru

Alexander Klushin Yurievich

Tver State Technical University
Russia, Tver
E-mail: klalex@inbox.ru

Modeling of the technological processes in the manufacturing of solid dosage drugs using Petri nets

Abstract: The aim of this article was to develop a model for the production of solid dosage forms using Petri nets. The developed model took into account all the stages of the production of solid dosage forms in pharmaceutical industry. This article discussed the possibilities and benefits of using Petri nets for modeling the technological processes of manufacturing solid dosage forms. Modeling of processes is considered as one of the methods of research in many technical fields. It helps to bring clarity on the characteristics of complex systems in various fields of engineering. For the analysis of the technological processes of manufacturing solid dosage, the use of Petri nets is a good choice. Real technological processes can be depicted graphically using Petri nets. This article also described in details the production stages of solid dosage forms for most pharmaceuticals. A Sequence diagram was developed to give a graphical representation of how the individual equipment's work in the production processes. A structural formula for each of the equipment in the system was also developed. Synthesis of logic control devices based on the sequence diagram was discussed and developed.

Keywords: Petri net; pharmaceutical industry; solid dosage; production management system; modeling; technological process; sequence diagram.

REFERENCES

1. Vasil'ev V.V., Kuz'muk V.V. Seti Petri, parallel'-nye algoritmy i modeli mul'tiprotsessornykh sistem. K.: Naukova Dumka, 1990. 216 s.
2. Kotov, V.E. Seti Petri [Tekst] / V.E. Kotov. – M.: Nauka, 1984.
3. Piterson Dzh. Teoriya setey Petri i modelirovanie sistem; [per. s angl. M.V. Gorbатовoy, V.N. Torkhova, V.N. Chet-verikova]. M.: Mir, 1984. 264 s.
4. Pogorelov V.I. Farmatsevticheskaya tekhnologiya. Rostov-na-Donu: Feniks, 2002. 467 s.
5. Azhgikhin I.S., Gandel' V.G. Izbrannye lektsii, po kursu tekhnologii lekarstv zavodskogo proizvodstva. M., 1972. ch. 2". 189 s.
6. Sidorkin O.V. Gibridnye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy dlya khimiko-farmatsevticheskoy otrasli: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2007.
7. Taptunov, V. N. Intellectual'naya sistema informatsionnoy podderzhki vybora tekhnologicheskikh skhem proizvodstva tverdykh lekarstvennykh preparatov. diss. kan. tekhn. nauk: 05.13.01 V. N. Taptunov. – RKhTU im. D.I. Mendeleeva, Moskva, 2012. – 148 s.
8. Kafarov V.V., Makarov V.V. Gibkie avtomatizirovannye proizvodstvennye sistemy v khimicheskoy promyshlennosti/ V.V. Kafarov, V.V. Makarov. – M.: Khimiya, 1990. – 320 s.
9. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. Modelirovanie sistem. – M.: Vysshaya shkola, 2001. – 343 s.
10. Greyner, G. R. i dr. Proektirovanie beskontaktnykh upravlyayushchikh logicheskikh ustroystv promyshlennoy avtomatiki. – M.: Energiya. 1997 – 384 s.
11. Zaytsev, D.A. Invarianty vremennykh setey Petri [Tekst] / D.A. Zaytsev // Kibernetika i sistemnyy analiz. – 2004. – №2. – S. 92 – 106.