

УДК 681.5.015:919.711.3

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКОГО УЧАСТКА ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТА

С.В. ЛУКЪЯНЕЦ, А.В. ПАВЛОВА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 29 января 2008*

исследуется гибкий двухмодульный участок штамповки деталей из листа. На основе сети Петри разработан алгоритм функционирования участка. Приводится алгоритм имитационного моделирования работы участка, в соответствии с которым выполнены компьютерные расчеты на языке GPSS-World. Даются рекомендации по использованию участков штамповки с учетом зависимости загрузки оборудования и производительности от размеров партий листов.

*Ключевые слова:* гибкий участок штамповки, сеть Петри, имитационное моделирование, загрузка оборудования.

### Введение

При проектировании дискретных производственных систем, к которым относятся гибкие штамповочные участки, широко применяются имитационные модели. На стадии разработки структурно-компоновочных схем и алгоритмов функционирования таких участков целесообразно применение сетей Петри, а при оценке технико-экономических показателей — использование языка компьютерного моделирования [1]. Этот подход и применяется в данном исследовании.

### Компоновочная схема участка

Участок штамповки из листа включает в себя два параллельно работающих однопрессовых модуля. Модули обслуживаются подвесным манипулятором, осуществляющим подачу и снятие листов с устройств загрузки-выгрузки обоих прессов, и автоматической тележкой, обеспечивающей взаимодействие модулей штамповки со складом.

Компоновочная схема участка приведена на рис. 1. Здесь использованы следующие обозначения: 1 и 1' — координатно-револьверные прессы с ЧПУ; 2 — подвесной пневматический манипулятор, перемещающийся в двух взаимноперпендикулярных направлениях; 3 и 3' — позиции, с которых осуществляется подача листов на устройства загрузки-выгрузки 5 и 5'; 4 и 4' — позиции, на которых накапливаются отштампованные листы, снимаемые с устройств загрузки-выгрузки 5 и 5'; 6 — автоматическая тележка.

Работа модуля осуществляется в следующем порядке. Автоматическая тележка 6 доставляет со склада поддоны с листами к позициям 3 и 3' и пустые поддоны к позициям 4 и 4'. Подвесной манипулятор переносит по одному листу поочередно на устройства загрузки-выгрузки 5 и 5', листы подаются в прессы, после чего осуществляется штамповка. Отштампо-

ванные листы возвращаются на устройства загрузки-выгрузки 5 и 5', после этого подвесной манипулятор 2 переносит листы на позиции 4 и 4'. После накопления в поддонах на этих позициях определенного количества листов автоматическая тележка отвозит их на склад для организации дальнейшей обработки в модуле резки. Этот модуль и система удаления отходов на работу участка штамповки не влияют. На компоновочной схеме они не показаны и в дальнейшем не учитываются.

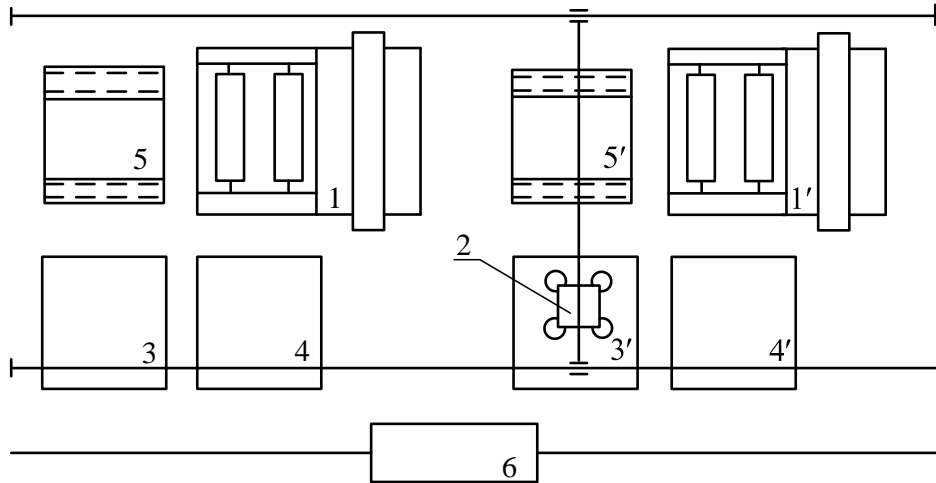


Рис. 1. Компоновочная схема участка

### Сеть Петри участка

При разработке подробного алгоритма функционирования участка и составлении программы имитационного моделирования необходимо согласовать во времени последовательность шагов работы вспомогательного оборудования, обслуживающего оба пресса. Для описания взаимодействующих процессов и анализа возможных конфликтных ситуаций составлена и отлажена сеть Петри, моделирующая работу участка (рис. 2).

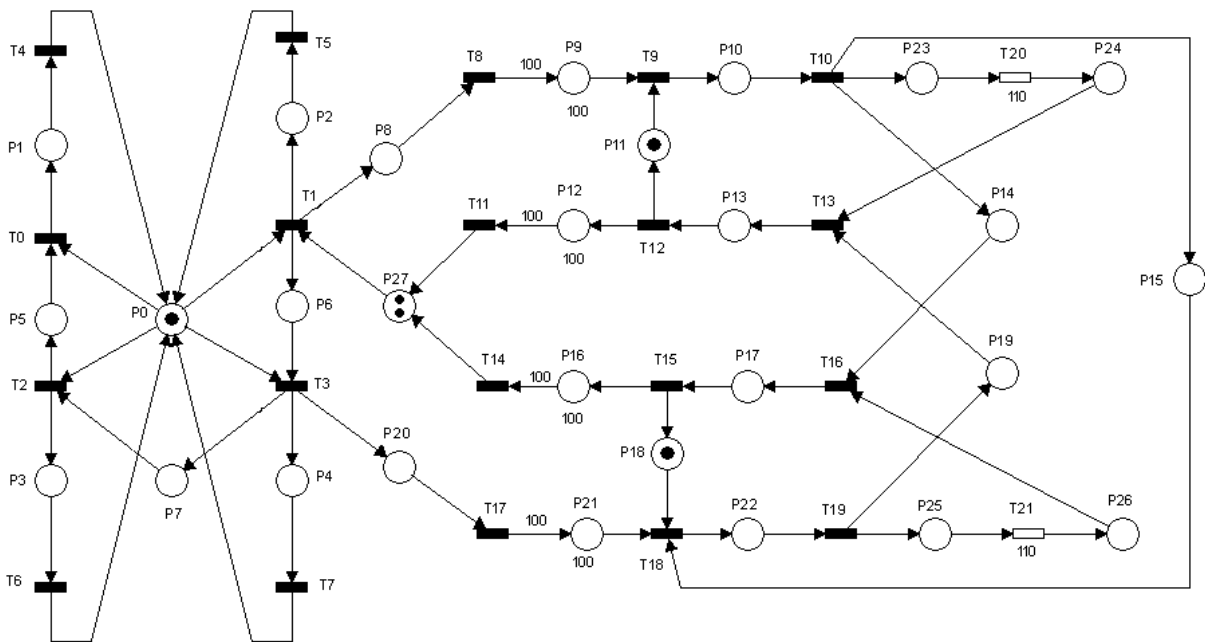


Рис. 2. Сеть Петри участка

Группы позиций  $P_0...P_7$  и переходов  $T_0...T_7$  взаимодействуют таким образом, что имитируют работу автоматической тележки ATEL и поочередную загрузку позиций 3, 3', 4 и 4'. Запуск модели осуществляется срабатыванием перехода  $T_1$ . Множество позиций  $P_8...P_{22}$  вместе с промежуточными переходами  $T_8...T_{19}$  отражают процесс работы подвешенного манипулятора РМ по обслуживанию прессов PRESS1 и PRESS2, который обеспечивает подачу листов в прессы с позиций 3 и 3' и отгрузку отштампованных листов в поддоны на позициях 4 и 4'. Через позиции  $P_{11}, P_{14}, P_{15}, P_{18}$  и  $P_{19}$  осуществляется согласование работы РМ на двух модулях. Цепочка  $P_{23}, T_{20}, P_{24}$  имитирует процесс штамповки в PRESS1, а цепочка  $P_{25}, T_{21}, P_{26}$  — процесс штамповки в PRESS2. Переходы  $T_{20}$  и  $T_{21}$  взвешены временем штамповки. Вес дуг ( $T_8, P_9$ ) и ( $T_{14}, P_{21}$ ) составляет 100 единиц (емкость поддона с листами). Это равнозначно тому, что из переходов  $T_8$  и  $T_{14}$  выходит 100 дуг, а в цикле позиции  $P_9$  и  $P_{21}$  по одной будут пропускать фишки, пока все листы с поддонов не пройдут на штамповку. Позиции  $P_{12}$  и  $P_{16}$  накапливают фишки до числа 100, после этого в позиции  $P_{27}$  появятся 2 фишки и обновляется процесс перезагрузки модулей через ATEL.

Анализ модели позволил уточнить последовательность движений РМ, согласовать его работу при организации циклов штамповки в прессах, проанализировать перемещения ATEL.

### Алгоритм моделирования

Алгоритм моделирования двухмодульного участка приведен на рис. 3, где использованы обозначения:  $n_0$  — количество листов в поддоне;  $n_p$  — количество листов в партии каждого модуля;  $n_1$  и  $n_2$  — текущее количество листов соответственно первого и второго модулей;  $m_1$  и  $m_2$  — текущее количество поддонов одной партии соответственно первого и второго модулей;  $t$  — текущее время,  $t_m$  — модельное время работы участка.

На схеме рядом с блоками указано время выполнения операций в секундах. Приведенное время штамповки листа  $T$  соответствует деталям средней сложности. Для упрощения схемы алгоритма время  $T$  включает как непосредственное время штамповки листа, так и время его перемещения с позиции 5 (или 5') в PRESS1 (или PRESS2) и время перемещения отштампованного листа из PRESS1 (или PRESS2) на позицию 5 (или 5').

Изображенный алгоритм относится к случаю, когда  $n_p \geq n_0$ . При этом принято, что  $n_p$  кратно  $n_0$ . Блоки 1, 2, 3 соответствуют фазе подготовки модулей к работе; 4, 6, 8, 10, 12, а также 5, 7, 9, 11, 13 — работе модулей 1 и 2 в цикле до заполнения поддона; 12, 14, 15, 18, 19, 22, а также 13, 16, 17, 20, 21, 23 — наращиванию количества поддонов до окончания штамповки заданной партии в каждом модуле; 24, 26, 27, а также 25, 28, 29 — смене оснастки для перехода на новую партию, блоки 24, 25, 30 — фазе окончания работы участка.

При моделировании работы участка, когда  $n_p < n_0$ , в блоках 12 и 13 производится сравнение текущего значения отштампованных листов после каждого прессы не с количеством листов, помещаемых в поддоне, а с количеством листов в партии каждого модуля:  $n_1 \geq n_p$  и  $n_2 \geq n_p$  соответственно. В остальном алгоритм прежний.

### Результаты компьютерного моделирования

В соответствии с приведенным алгоритмом разработана программа имитационного моделирования на языке GPSS-World [2]. При расчетах на ЭВМ использованы следующие исходные данные:  $n_0=100$ ;  $n_p=10$ ; 20; 40; 60; 80; 100; 200; 300; 400; 500; модельное время при коэффициенте использования времени 0,8 и двухсменном режиме  $t_m=0,8 \cdot 2 \cdot 28800=46080$  с.

Результаты расчетов изображены на рис. 4 и 5. Так как при  $n_p > 150$  исследуемые параметры не зависят от величины  $n_p$ , графики приведены для  $n_p < 150$ . Рис. 4 отражает зависимость общего количества отштампованных листов  $N$  двух модулей от размера партии каждого модуля  $n_p$  при трех фиксированных значениях времени штамповки листа в каждом прессе:  $T=(60 \pm 15)$  с,  $T=(110 \pm 30)$  с,  $T=(600 \pm 160)$  с. На рис. 5 представлена зависимость коэффициентов загрузки каждого прессы, подвешенного манипулятора и автоматической тележки от  $n_p$  при тех же значениях  $T$ .

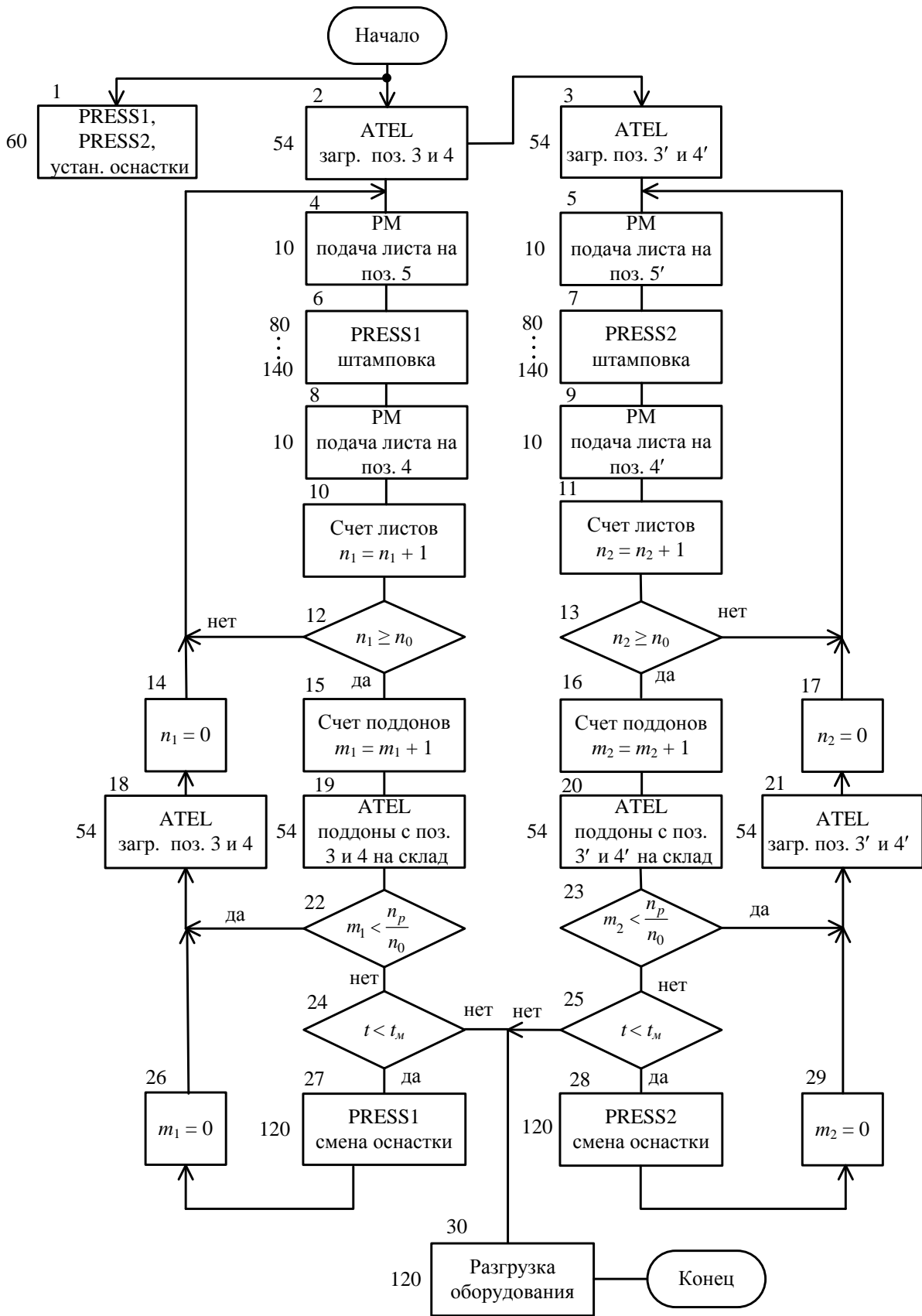


Рис. 3. Алгоритм моделирования участка

Анализ результатов показывает, что производительность участка зависит от сложности деталей. При переходе от сложных деталей ( $T=600\pm 160$  с) к простым ( $T=60\pm 15$  с) количество отштампованных листов  $N$  возрастает в 6,5–8,0 раз.  $N$  для сложных деталей не зависит от размера партии. В случае простых деталей при уменьшении  $n_p$  величина  $N$  падает (при уменьшении  $n_p$  от 150 до 10 величина  $N$  снижается на 20%). Коэффициенты загрузки прессов и подвешного манипулятора для  $T=\text{const}$  практически не зависят от размеров партий деталей. Наиболее загружены прессы:  $K_z \approx 70\text{--}98\%$ , с увеличением  $T$  загрузка прессов возрастает. Подвешной манипулятор загружен меньше:  $K_z \approx 6\text{--}45\%$ , при этом  $K_z$  возрастает с уменьшением  $T$ . Коэффициент загрузки автоматической тележки еще ниже ( $<25\%$ ), особенно при  $n_p < 40$  ( $<5\%$ ). В связи с этим РМ и АТЕЛ могут быть использованы для обслуживания еще одного участка.

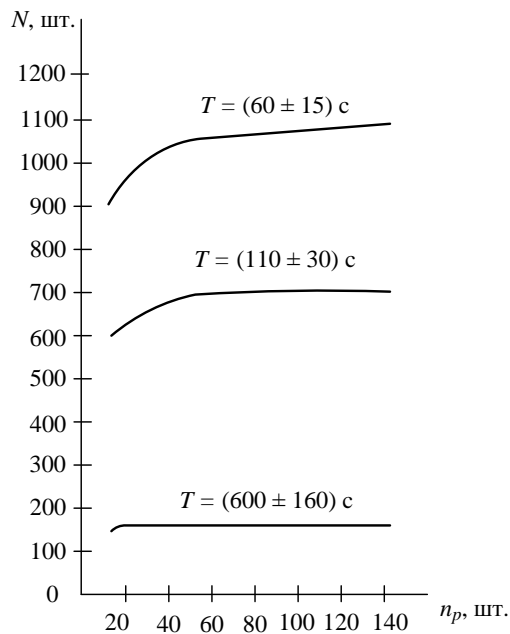


Рис. 4. Зависимость  $N$  от  $n_p$  при  $T=\text{const}$

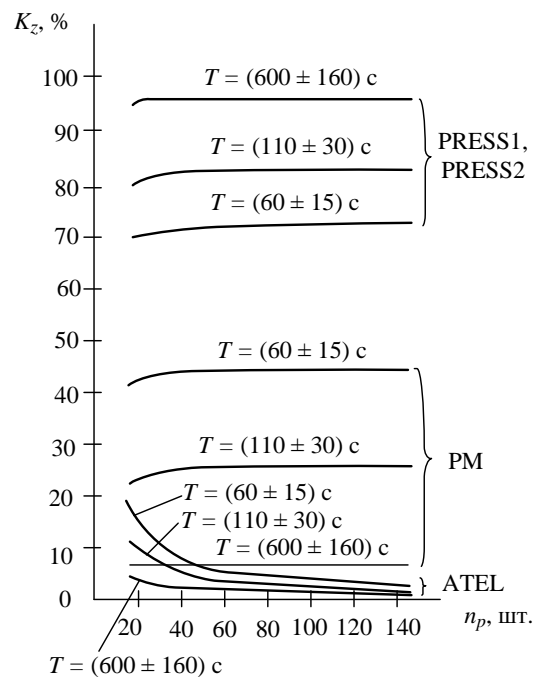


Рис. 5. Зависимость  $K_z$  оборудования от  $n_p$  при  $T=\text{const}$

### Заключение

В результате исследования гибкого участка штамповки деталей из листа разработан на основе сети Петри обобщенный алгоритм моделирования участка при изменении размера партий в широком диапазоне. Компьютерные расчеты, выполненные в среде имитационного моделирования GPSS-World, показали эффективность предложенного алгоритма. Они явились также обоснованием рекомендаций по организации штамповочного производства, связанных с возможностью использования автоматической тележки и подвешного манипулятора для обслуживания дополнительных штамповочных модулей.

# **SIMULATION MODELING OF FLEXIBLE MANUFACTURING SELLS FOR SHEET PRESSWORK**

S.V. LUKYANETS, A.V. PAVLOVA

## **Abstract**

The paper focuses on automatic double-modules manufacturing sells for sheet presswork. System functional algorithm based on Petri net is developed. Using functional algorithm simulation algorithm of manufacturing sells operation with corresponding mathematical evaluations and GPSS program is created. There are proposed recommendations on application areas of double-modules manufacturing sells for sheet presswork taking into account machine load and efficiency dependence from the size of production run.

## **Литература**

1. *Лукьянец С.В., Пашкевич А.П.* Моделирование гибких производственных систем и роботизированных комплексов. Минск, 2005.
2. *Боев В.Д.* Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: Учеб. пособие. СПб., 2004.