

УДК 303.094.7

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХПРЕССОВОЙ ЛИНИИ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ

С.В. ЛУКЬЯНЕЦ¹, С.В. СНИСАРЕНКО¹, М.А. ЛИШАЙ²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

²ОАО «МАЗ», Республика Беларусь

Поступила в редакцию 23 марта 2018

Аннотация. Разработан алгоритм имитационного моделирования автоматизированной четырехпрессовой линии штамповки деталей, выполнен компьютерный эксперимент, получены характеристики линии. Даны рекомендации по повышению эффективности производства и безопасности труда работников.

Ключевые слова: модернизация линии, алгоритм моделирования, коэффициент загрузки работников и оборудования, производительность.

Abstract. The algorithm of the imitation simulation of the automated four-press line of details' stamping is developed. The computer experiment is executed. Characteristics of the line depending on the size of details' party are received. Recommendations how to improve the efficiency of production and workers' safety are given.

Keywords: production line modernization, imitation modelling, optimizations algorithm, workers and equipment utilization factor, productivity.

Doklady BGUIR. 2018, Vol. 112, No. 2, pp. 92-97

Simulation modeling of parts stamping line with four presses

S.V. Lukyanets, S.V. Snisarenko, M.A. Lishay

Введение

При модернизации традиционного штамповочного производства на таких предприятиях, как ОАО «МАЗ», необходимо учитывать его особенности. К ним относятся недостаток свободных производственных площадей, трудности замены основного оборудования, наличие ручного небезопасного труда, значительные временные затраты на установку и снятие оснастки, а также на перемещение грузов. В этих условиях для повышения гибкости, эффективности и безопасности производства целесообразно проведение частичной модернизации существующей линии путем рациональной организации процесса штамповки, а также замены основных операторов, обслуживающих прессы, роботами-манипуляторами. При этом сохраняются порядок расположения прессов, кран как средство доставки на склад и со склада материальных ценностей (штампов, тары под детали, тары с деталями), способ замены оснастки с помощью бригады работников. В данном исследовании использован применявшийся в [1] подход. Установление количественных зависимостей выполнено с привлечением средств имитационного моделирования [2].

Компоновочная схема линии

Компоновочная схема линии показана на рис. 1. Здесь приняты следующие обозначения: 1 – склад; 2 – кран; 3 – позиция загрузки готовых деталей в тару; 4 – модуль

предварительной подготовки заготовок; 5 – позиция подачи заготовок в линию; 6, 7, 8, 9 – кривошипные холодноштамповочные прессы модели SE2-315; 13, 14, 15, 16, 17 – промышленные роботы (далее – роботы) модели IRB 6660 130/3.1 фирмы ABB; 10 – передающая лента; 11 – оператор; 12 – приемочная платформа.

Работа линии осуществляется в следующем порядке. Кран доставляет штампы к прессам и тару под готовые детали. Бригада работников по мере доставки штампов устанавливает их в прессы. Когда оборудование готово, первая заготовка поступает из модуля 4 (в моделировании последовательность происходящих в модуле процессов не учитывается) на позицию 5. Робот 13 перемещает эту заготовку в пресс 6, после штамповки в котором робот 14 перемещает деталь к роботу 7. Далее функционируют роботы 14, 15, 16, перемещая деталь соответственно в прессы 7, 8 и 9. Робот 17 перемещает готовую деталь на ленту 10, и она направляет эту деталь на приемочную платформу 12. Оператор 11 загружает деталь в тару на позицию 3.

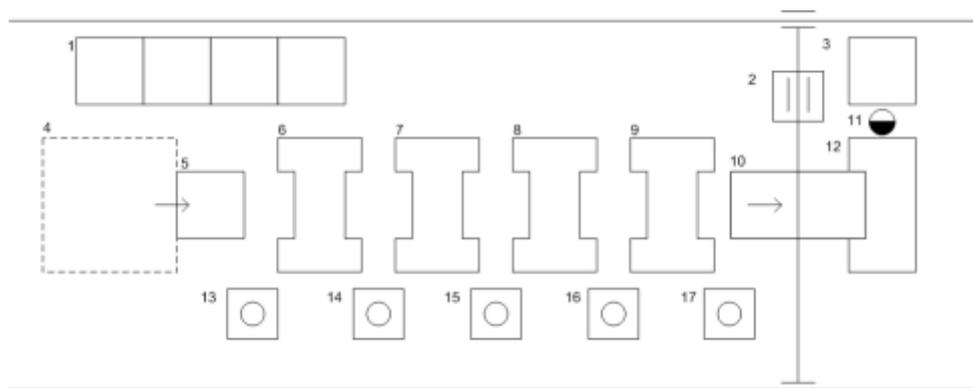


Рис. 1. Компоновочная схема линии

Вторая заготовка поступает на позицию 5 после освобождения робота 13 и далее в линию, согласно изложенному порядку. Если после окончания обработки партии деталей их размер меньше размера тары под детали, кран перемещает эту тару на склад, бригада снимает штампы, кран перемещает их на склад. Цикл обработки всей партии закончен.

Если же размер партии деталей превышает размер тары под детали, то кран по мере заполнения тары отвозит ее на склад, доставляет на позицию 3 пустую тару под детали, и процесс продолжается до полной обработки всей партии деталей, повторяя в конце цикла последовательность действий предыдущего случая.

Алгоритм моделирования

Алгоритм моделирования работы линии изображен на рис. 2. Принятые обозначения: *KRAN* – кран, *BRIG* – бригада, *PRESS* – пресс, *ROB* – робот, *OPER* – оператор; $x1$ – текущее количество деталей в таре, $npart$ – количество деталей в партии, ndet$ – текущее количество отштампованных деталей, $ntar$ – емкость тары.

Представленный алгоритм относится к случаю, когда $npart \geq ntar$, при этом принято, что размер партии деталей кратен емкости тары. Блоки 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15, 17 соответствуют фазе подготовки линии к работе; блоки 2, 5, 8, 11, 14, 16, 18, 20, 23, 26, 29, 31 – работе линии в режиме непосредственной штамповки деталей; блоки 33, 34, 36, 38, 39, 40, 41 – определению действий в зависимости от заполняемости тары и количества деталей на выходе линии; блоки 19, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 35, 37, 42, 43 – фазе окончания работы линии при завершении штамповки всей партии деталей. В случае, когда $npart < ntar$, в блоке 36 выполняется сравнение $x1$ с размером $npart$, т. е. $x1 = npart$. В остальном алгоритм совпадает с приведенным.

Прерывистые линии в схеме алгоритма показывают, что транзакты (детали) не направляются по обратным связям, а лишь отражают продолжение соответствующих процессов.

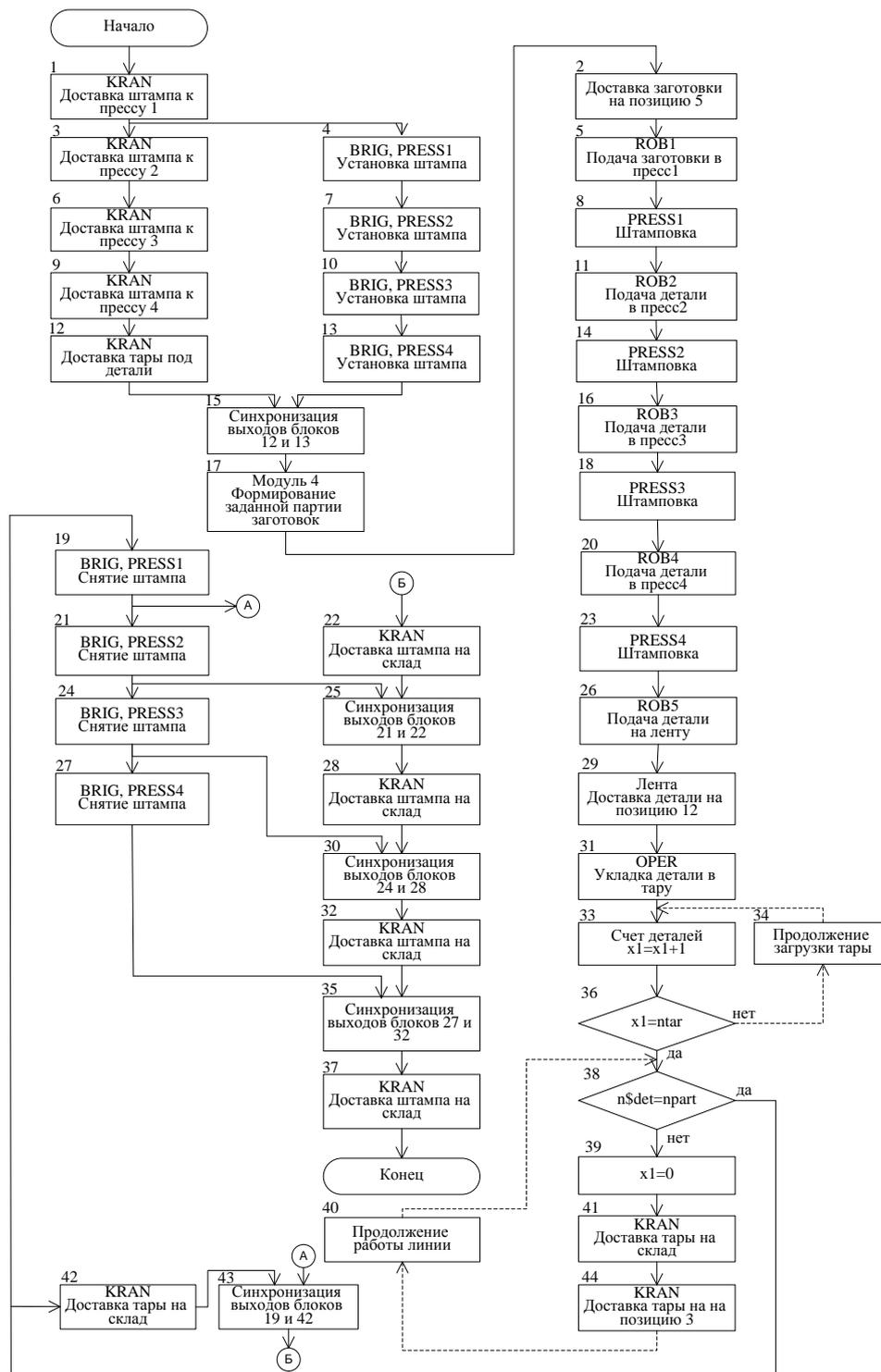


Рис. 2. Схема алгоритма моделирования работы линии

Программа и результаты моделирования

Исходные данные для моделирования приведены в табл. 1. В ней использованы характеристики реальной линии штамповки для деталей типа «Поддон». В соответствии с представленным алгоритмом и исходными данными разработана программа на языке моделирования GPSS. Фрагменты кода программы для некоторых фаз алгоритма приведены на рис. 3.

Таблица 1. Исходные данные

Параметр/ ед. изм.	Значение
Время установки/ снятия штампа, с	3000±300
Время доставки краном одного груза, с	300±30
Время штамповки одной детали каждым прессом, с	3,8±0,2
Время доставки одной заготовки на позицию 5, с	6
Время доставки одной детали лентой, с	6
Время работы каждого робота на одной операции, с	2,9±0,2
Время работы оператора на одной операции, с	3,5±0,5
Размер тары, шт	100; 200; 400
Размер партии деталей, шт	200; 400; 800; 1200; 4000; 8000; 12000; 16000; 20000; 24000; 28000; 32000

; формирование заданной партии заготовок, доставка заготовки на позицию 5 и работа первого пресса

```

blok17      split      (npart-1), blok2
blok2       advance 6
            seize      ROB1
            advance 2.9,0.2
            release    ROB1
            seize      PRESS1
            advance 3.8,0.2
            release    PRESS1
    
```

; укладка деталей в тару и определение дальнейшего порядка работы линии (блоки 36, 38 и 39)

```

det         release    OPER
            savevalue 1+,1
            test e     x1, ntar,abc;abc – метка любого блока terminate
            test e     n$det,npart,blok39
            transfer   ,blok19_42 ;blok19_42 – метка оператора расщепления
blok39      savevalue 1,0
    
```

Рис. 3. Фрагменты кода программы

Реализация блока синхронизации 15 осуществлена путем применения оператора *logic s 1* после блока 12 и оператора *gate ls 1* после блока 13. По такому принципу реализованы и остальные блоки синхронизации. Работа линии моделировалась в течение 10 дней при трехсменном режиме и коэффициенте использования рабочего времени 0,95. На основе результатов моделирования работы линии при емкости тары в 100 единиц установлено, что к крану (блок 41) образуется большая очередь, а это недопустимо из-за отсутствия дополнительной площади для хранения большого количества тары с деталями и соответствующей организации процесса хранения. Установлено, что эта очередь образуется при $ntar \leq 120$. В дальнейших исследованиях использованы значения $ntar = 200$ и $ntar = 400$.

Объем выпуска деталей N определялся количеством партий (номенклатурой деталей) и размером каждой партии, а номенклатура деталей за плановый период – исходя из времени, затраченного на выпуск каждой партии. Полученные зависимости объема выпуска и номенклатуры деталей от размера партий (рис. 4) показали, что наибольшая производительность линии обеспечивается при $npar \geq 16000$ деталей (номенклатура изделий менее 10).

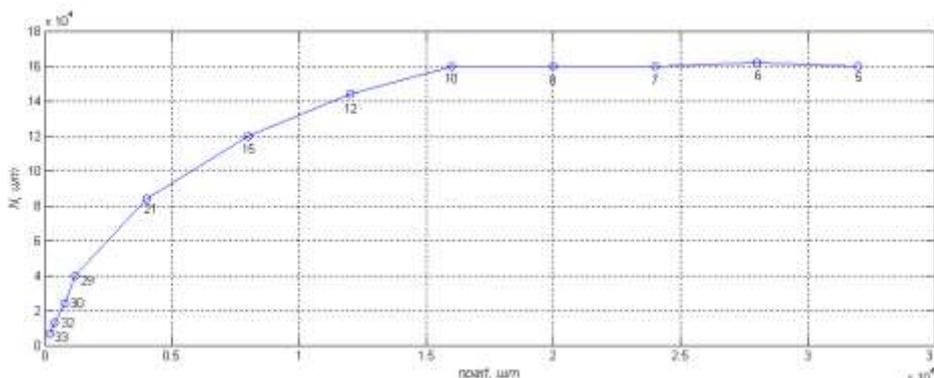


Рис. 4. Зависимости производительности и номенклатуры деталей (цифры на кривой) от размера партий

Зависимости коэффициентов загрузки каждого пресса $K_{Z,PRESS}$ и крана $K_{Z,KRAN}$ от размера партий деталей приведены на рис. 5. Они показывают, что величины $K_{Z,KRAN}$ при различных значениях емкости тары существенно различаются. При этом $K_{Z,PRESS}$ не зависит от емкости тары под детали.

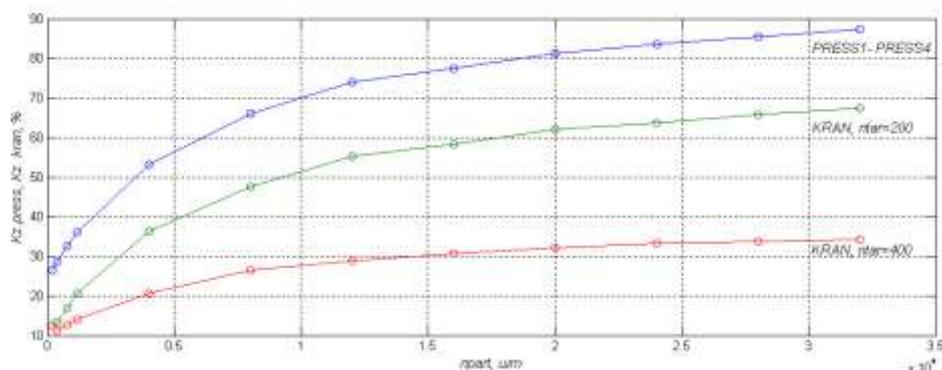


Рис. 5. Зависимости коэффициентов загрузки прессов и крана от размера партий

Из рис. 6 следует, что коэффициент загрузки бригады $K_{Z,BRIG}$ уменьшается с ростом $npart$ и не зависит от емкости тары. С увеличением размера партий коэффициенты загрузки каждого робота и оператора не зависят от емкости тары и возрастают, достигая при этом 64 и 77 % соответственно. Для уменьшения загрузки работников можно использовать нескольких операторов.

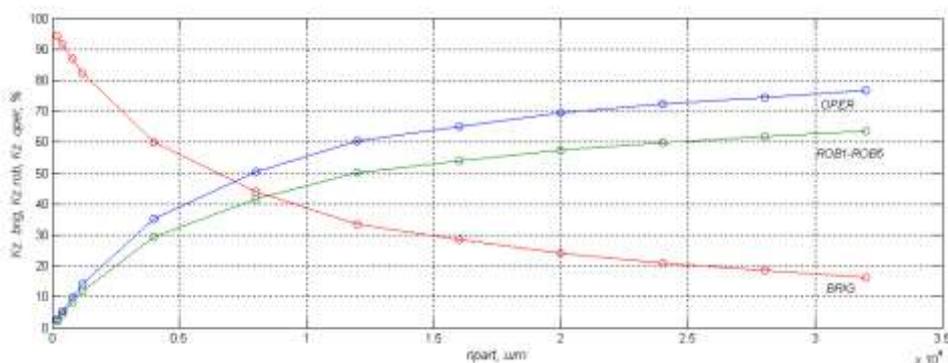


Рис. 6. Зависимости коэффициентов загрузки бригады, роботов и оператора от размера партий

Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что замена операторов роботами-манипуляторами увеличивает максимальную производительность линии и при этом существенно повышает безопасность труда работников. При размерах партий деталей от 8000 до 32000 шт. производительность роботизированной линии по сравнению с исходной возрастает в 2–2,5 раза. При меньших размерах партий этот рост ниже ввиду большого удельного времени на переоснащение прессов. Установленные в данном исследовании зависимости могут быть использованы для оценки характеристик линии при выборе режимов ее функционирования.

Список литературы

1. Лукьянец С.В., Павлова А.В. Имитационное моделирование гибкого участка штамповки деталей из листа // Докл. БГУИР. 2008. № 2 (32). С. 105–110.
2. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. СПб., 2004. 368 с.

References

1. Luk'janec S.V., Pavlova A.V. Imitacionnoe modelirovanie gibkogo uchastka shtampovki detalej iz lista // Dokl. BGUIR. 2008. № 2 (32). S. 105–110. (in Russ.)
2. Boev V.D. Modelirovanie sistem. Instrumental'nye sredstva GPSS World. SPb., 2004. 368 s. (in Russ.)

Сведения об авторах

Лукьянец С.В., к.т.н., профессор, профессор кафедры систем управления Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Снисаренко С.В., старший преподаватель кафедры систем управления Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Лишай М.А., мастер прессового цеха ОАО «МАЗ».

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровка, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-17-293-86-02;
e-mail: kafsu@bsuir.by
Кафедра систем управления

Information about the authors

Lukianets S.V., PhD, professor, professor of department of control systems of Belarusian state university of infomatics and radioelectronics.

Snisarenko S.V., senior lecturer of department of control systems of Belarusian state university of infomatics and radioelectronics.

Lishay M.A., master of line of details' stamping OJSC «MAZ».

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian state university
of infomatics and radioelectronics
tel. +375-17-293-88-38;
e-mail: kafsu@bsuir.by
Department of control systems