

УДК 658

**И. Ю. Филипчик**

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СБОРОЧНОГО УЧАСТКА**

***Аннотация.** В статье рассмотрен дискретно-событийный метод моделирования производственного процесса. Этот метод был применён для повышения эффективности логистической системы участка по производству стиральных машин. Созданная модель детально описывает работу сборочного и упаковочного цехов, показывает пути увеличения производительности участка и может быть применена на действующих производствах и для планирования новых.*

***Ключевые слова:** Результаты прогнозирования, эффективность логистической системы, производительность, дискретно-событийный метод имитационного моделирования, производственная мощность, точность прогнозирования, рабочий цикл, экспериментальная модель*

**I. Y. Filipchuk**

### **APPLICATION OF DISCRETE-EVENT SIMULATION TO IMPROVE LOGISTICS SYSTEM ASSEMBLING DEPARTMENT**

***Abstract.** The article deals with discrete event simulation method of the production process. This method was used to improve the efficiency of the logistics system portion for washing machines. The created model describes in detail the work of the assembly and packaging workshops, shows ways to increase the performance of the site and can be applied to existing industries and for planning new ones.*

***Keywords:** The results of forecasting, efficient logistics system performance, discrete event simulation method, the production capacity, forecast accuracy, the duty cycle, the experimental model*

**І. Ю. Філіпчик**

### **ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНО-ОРІЄНТОВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ**

***Анотація.** У статті розглядається дискретно-орієнтовний метод моделювання логістичного процесу. Даний метод моделювання застосований для підвищення ефективності логістичної системи ділянки з виробництва пральних машин. Створена модель детально характеризує роботу збірної та пакувальної цехів, вказує на шляхи покращення продуктивності ділянки та може бути застосована на вже існуючих виробництвах та для планування нових.*

***Ключові слова:** Результати прогнозування, ефективність логістичної системи, продуктивність, дискретно-орієнтовний метод імітаційного моделювання, виробнича потужність, точність прогнозування, робочий цикл, еквівалентна модель*

**Введение.** На сегодняшний день механизация производственных мощностей и автоматизация процессов производства являются приоритетными задачами в производственной логистике, так как эти процессы определяют уровень квалификации и организации производства.

Актуальные вопросы – как повлияет механизация на производственный процесс и, каковы сроки её окупаемости. Здесь критерием является точность прогнозирования. Необходимо описать производственный процесс в виде имитационной модели для проведения на ней последующих экспериментов с целью поиска путей увеличения производительности, не затрагивая реальный

производственный процесс.

Для этого нужно выбрать наиболее подходящий метод создания экспериментальной модели, который будет точно учитывать все взаимосвязи системы и сможет объединить все производственные процессы в единый сквозной логистический поток [1].

Существуют несколько методов имитационного моделирования такие как: системная динамика [2], агентное [3] и дискретно-событийное моделирование [4].

Так как производственный процесс удобно рассматривать, как систему из отдельно взятых, следующих друг за другом, законченных действий, то в этом случае целесообразно использовать метод дискретно-событийного моделирования [5; 10]. При помощи этого метода моделирования собы-

© Филипчик И.Ю., 2015

тий была продумана последовательность операций, выполняемых на предприятии на примере производства стиральных машин.

**Цель работы** – поиск путей увеличения производительности логистической системы сборочного участка, на примере производства стиральных машин.

**Материалы исследования.** На сборочный участок поступают два типа деталей для стиральных машин с разной интенсивностью (корпус машины с интенсивностью 40 шт/час и двери – 35 шт/час). Причём двери подаются непосредственно к робототехническому комплексу, а корпуса к площадке отдалённой от места сборки на 10 м, и перемещаются по ленточному конвейеру к месту сборки. Затем при наличии обеих деталей стиральной машины в зону загрузки робототехнического комплекса начинается сборочная операция. В ней участвуют два, параллельно работающих, робота манипулятора. По окончании процесса сборки, готовые изделия перемещаются робототехническими комплексами на ленточный конвейер, который транспортирует их к месту упаковки готовой продукции. В процессе упаковки одновременно участвуют два рабочих. После завершения упаковочной операции готовая продукция транспортируется на склад, где происходит её группировка в партии по 10 изделий и готовые партии отправляются к заказчику автомобильным транспортом.

Повышение производительности данного участка, достигается путём выявления оптимального количества робототехнических комплексов в гибкой автоматизированной линии (ГАЛ), определения минимально-необходимого количества рабочих на упаковочном участке и выбора требуемых скоростей ленточных конвейеров.

Построение логистической модели сборочного участка выполняется на основании расчётных значений производительности ГАЛ, полученных разделением общего процесса производства на частные операции [6], а также вычислений скоростей движения ленточных конвейеров и времени, затрачиваемым робототехническим комплексом на сборочные операции. А затем проведением наглядных экспериментов на созданной модели, которые при правильном описании

взаимосвязей между операциями производственного процесса дадут нам ответы на поставленные цели данной работы.

Проблему точности прогнозирования данного производственного процесса решает созданная модель дискретно-событийным методом (рис. 1). Она определена графически как блок-схема процесса, где операции представлены в виде блоков.

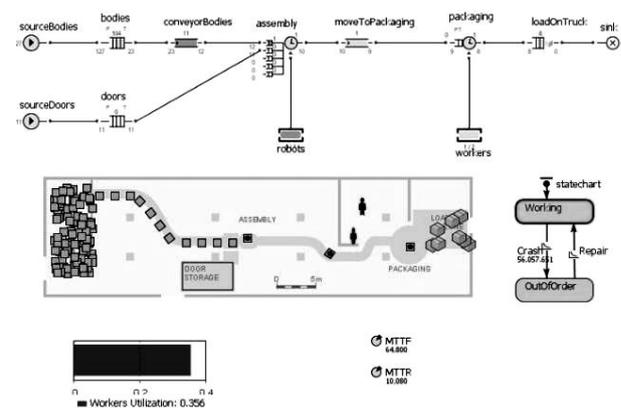


Рис. 1. Модель производственного процесса стиральных машин

Для описания процесса прибытия деталей на сборочный участок применяются модули (sourceDoors и sourceBodies). В них задаются параметры интенсивности прибытия деталей на сборочный участок и подачи их на производственную линию. Затем совместно с модулем (queue), который формирует создание очереди деталей для их последующей отправки на ленточный конвейер, формируется блок схема подачи деталей на линию сборки. Следует отметить возможность изменения количества деталей в очереди как для корпусов (bodies), так и для дверей (doors).

Затем детали из сформированной очереди корпусов (bodies) поступают на модуль ленточного конвейера (conveyorBodies), в котором предусмотрено изменение скорости транспортирования и длины конвейера [7]. Производительность данного типа конвейера рассчитывается по формуле (1) в которой учитывается время работы устройства ( $\tau$ ) и количество деталей ( $Z_0$ ), транспортируемых конвейером с определённой скоростью ( $v$ ).

$$P_p = 3600 \cdot \frac{K_{sp} \cdot Q}{\tau} \quad (1)$$

Два логистических потока поступают на модуль участка сборки (assembly), в котором предусмотрено включения дополнительных потоков деталей, и изменения статуса деталей с «в ожидании» на «прибыл». В данном модуле задаётся время на сборку робототехническим комплексом и количество используемых роботов манипуляторов ( $Z_M$ ) добавлением подмодуля ресурса операции (ResourcePool).

Для определения общей производительности ( $\Pi$ ) сборочного участка, состоящего из нескольких роботов манипуляторов ( $Z_M$ ), действующих одновременно, используется формула (2).

$$\Pi = \frac{P_p \cdot K_H}{Z_M \cdot t_{3M} \cdot T_p} . \quad (2)$$

В данных операциях учитываются также неравномерность поступления материальных потоков ( $K_H$ ) и длительность всего рабочего процесса ( $t_{3M}$ ) [8].

Упаковочный участок представлен в виде блока состоящего из соединения модуля ленточного конвейера (moveToPackaging) с модулем, описывающим процесс упаковки (packaging). Регулирование количества рабочих, участвующих в операции упаковки, регулируется подмодулем ресурса операции (workers).

После операции упаковки готовую продукцию формируют в партии модулем (loadOnTruck), в котором задаётся время формирования и размер партии. И заканчивается составление сквозного логистического потока модулем (sink), служащим для регулирования частоты отправки партий товара со склада готовой продукции.

Время обслуживания и время прибытия товара на предприятие, как правило, стохастическое и основано на вероятности распределении событий [9].

Таким образом, сами дискретные модули событий также являются стохастическими. Это означает, что экспериментальная модель должна работать в течение определенного времени, или требуется определенное количество повторений, прежде чем модель выдаст конечный результат симуляционного процесса. Во время полной загрузки произ-

водственных мощностей, остальные процессы не останавливаются. На загруженных объектах создаются очереди, которые и показывают недостаток ресурсов на предприятии, а тем временем производство продолжает функционировать.

На основе составленной имитационной модели логистического процесса было определено, путём анализа производства сборочного участка, как качественные и количественные изменения производственных мощностей данного участка повлияют на производительность его операций (сборки и упаковки), а также общую производительность процесса. Результаты представлены в таблице. Для количественного анализа мощностей использовались скорости работы конвейеров, а для количественного – число сотрудников и робототехнических комплексов (РТК), задействованных на участках.

#### 1. Результаты эксперимента

РТК	Рабочие	$v_1$ , м/с	$P_{сб}$ , шт/с	$v_2$ , м/с	$P_{уп}$ , шт/с	$\Pi$ общ., шт/смена
1	2	0,2	150	0,2	140	140
1	3	0,5	150	0,2	150	150
2	2	0,2	226	0,5	165	165
2	3	0,5	248	0,5	187	187
2	3	0,7	278	0,7	278	278
2	3	0,7	278	0,5	278	278
2	4	0,7	278	0,7	278	278

На основании полученных данных можно сделать вывод, что полная загрузка производственных мощностей достигается путём увеличения количества РТК до двух штук, а оптимальное количество рабочего персонала на упаковочном участке составит три человека. При этом оптимальная скорость первого ленточного конвейера ( $v_1$ ), транспортирующего корпуса к месту сборки, 0,7 м/с, а второго ленточного конвейера ( $v_2$ ) доставляющего материальный поток к упаковочному участку – 0,5 м/с. Что увеличит общую производительность ( $\Pi$ ) на 98 %, а производительность сборочного модуля ( $P_{сб}$ ) на 85 %.

Следует отметить, что дальнейшее увеличение количества рабочего персонала на

участке упаковки готовой продукции является неэффективным потому, что производительность данного участка начинает превышать производительность сборочной операции. Это влечёт за собой не полную занятость рабочего персонала.

В свою очередь увеличение количества робототехнических комплексов требует существенного увеличения скорости ленточного конвейера, подающего корпуса стиральных машин к упаковочному месту, что не рекомендуется в целях безопасности транспортирования и равномерности подачи деталей в РТК.

**Выводы.** Имитационная модель заводского цеха, созданная дискретно – событийным методом, по сборке стиральных машины показывает пути увеличения производительности логистической системы. С высокой степенью точности решает задачи расширения и увеличения объемов производства, сокращает длительность производственного цикла, проводит анализ и оптимизацию численности персонала, повышает эффективность использования оборудования, показывает оптимальный порядок введение механизации и автоматизации на производстве для получения наибольшего прироста производительности. Главным преимуществом данной модели является быстрое прогнозирование результатов введения новшеств в производственный процесс.

#### Список использованной литературы

1. Савин В. И. Организация складской деятельности: Справочное пособие / В. И. Савин. – 2-е изд. – М. : Издательство «Дело и Сервис», 2007. – 544 с.

2. Методы имитационного моделирования: [Электронный ресурс] // Производство. – Режим доступа: <http://www.anylogic.de/discrete-event-simulation.html> – (дата доступа 27.03.2015).

3. Carone M., (2014), Using Modeling and Simulation to Test Designs and Requirements. MathWorks News&Notes The Magazine for the MATLAB, and Simulink Community, No. 10, pp. 26 – 29.

4. Perl J., (2010), Net-based Phase-Analysis in Motion Processes, *Mathematical*

*and Computer Modelling of Dynamical Systems*, Vol. 16, No. 5, October 2010, pp. 465 – 475.

5. Fortuna L., Graziani S., Rizzo A., and Xibilia M., (2007), Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes: *Advances in Industrial Control*. New York: Springer, pp. 270.

6. Bicher M., Music G., Hafner I., and Breitenecker F., (2014), Support of Event-Graph Lectures by the MMT E-learning System. *SNE Educational Note*, Vol. 24, No. 1, April 2014, pp. 47 – 50.

7. Leskovar R., Tanzler J., Bicher M., (2014), Petri Net Modelling and Simulation in AnyLogic and MATLAB for ARGESIM Benchmark C4 “Dining Philosophers”. *SNE Educational Note*, Vol. 24, No. 1, April 2014, pp. 55 – 58.

8. Obermair M., and Glock B., (2014), Agent-based Simulation of the Railway Connection from and to the Vienna International Airport. *SNE Educational Note*, Vol. 24, No. 3 – 4, Dec. 2014, pp. 123 – 126.

9. Glock B, Breitenecker F., (2014), Ein System Dynamics Modell zur Prävalenz von Adipositas in Österreich, *Master Thesis*. – *Institute for Analysis and Scientific Computing*, Österreich, Vienna.

10. Breitenecker F., Popper N., (2009), Classification and Evaluation of Features in Advanced Simulators, *MATHMOD 09*, Österreich, Vienna, No.1.

Получено 27.03.2015.

#### References

1. Savin V.I. Organizaciya skladskoj deyatelnosti: Spravochnoe posobie, 2-e izd., [Organization of Warehouse Activities: a Guidebook], (2007), Moscow, Russian Federation, *Izdatelstwo “Delo i Servis”*, 544 p. (In Russian).

1. Imitacionogo modelirovaniya [Methods of Simulation Modeling ion: Metody], (In Russian) [Electronic Source], *Proizvodstwo*, available at: <http://www.anylogic.de/discrete-event-simulation.html> (accessed 27.03.2015).

2. Carone M. Using Modeling and Simulation to Test Designs and Requirements. MathWorks News&Notes. The Magazine for the

MATLAB and Simulink Community, No. 10, 2014, pp. 26 – 29.

3. Perl J., (2010), Net-based Phase-Analysis in Motion Processes. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, Vol. 16, No. 5, October 2010, pp. 465 – 475.

4. Fortuna L., Graziani S., Rizzo A., and Xibilia M., (2007), Soft Sensors for Monitoring and Control of Industrial Processes: *Advances in Industrial Control*. New York: Springer, 270 p.

5. Bicher M., Music G., Hafner I., and Breitenecker F., (2014), Support of Event-Graph Lectures by the MMT E-learning System, *SNE Educational Note*, Vol. 24, No. 1, April 2014, pp. 47 – 50.

6. Leskovar R., Tanzler J., and Bicher M., (2014), Petri Net Modelling and Simulation in AnyLogic and MATLAB for ARGESIM Benchmark C4 “Dining Philosophers”. *SNE Educational Note*, Vol. 24, No. 1, April 2014, pp. 55 – 58.

7. Obermair M., and Glock B., (2014), Agent-based Simulation of the Railway Connection from and to the Vienna International Airport. *SNE Educational Note*, Vol. 24, No. 3 – 4, Dec. 2014, pp. 123 – 126.

8. Glock B., and Breitenecker F., (2014), Ein System Dynamics Modell zur Prävalenz von Adipositas in Österreich, Master Thesis, *Institute for Analysis and Scientific Computing*. – Österreich, Vienna.

9. Breitenecker F., and Popper N., (2009), Classification and Evaluation of Features in Advanced Simulators, *MATHMOD 09*, Österreich, Vienna, No. 1.



Филипчик  
Иван Юрьевич,  
ассистент каф.  
подъемно-транспорт-  
ного и робототехничес-  
кого оборудования  
Одесского нац. поли-  
техн. ун-та, тел.  
+38 063 21 26 722.  
E-mail:  
ivanfilipchik@rambler.ru