

*Высочина О.С., Данич В.Н., Дёмин М.К., Булавин Д.А.*

*Восточноевропейский национальный университет имени Владимира Даля, г. Луганск  
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, г. Харьков*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

*В статье в рамках дискретно-событийного подхода рассмотрены системы моделирования производственных систем, на примере участка термической обработки проведен сравнительный анализ средств имитационного моделирования Arena и GPSS. Рис. 3. Ист. 13.*

*Ключевые слова: Arena, GPSS, дискретно-событийный подход, имитационное моделирование, моделирование производственных систем.*

**Постановка проблемы.** Как показал мировой финансовый кризис, большинство отечественных промышленных предприятий, располагавших налаженной системой производственно-хозяйственной деятельности, планирования и учета, оказались не способными быстро реагировать на изменяющиеся условия внешней среды. В первую очередь это связано с тем, что в настоящее время в Украине накоплен значительный опыт управления экономической деятельностью промышленными комплексами в условиях социалистической экономики, которые создавались как системы, ориентированные на стабильную внешнюю среду. В условиях нестабильной экономики для расчета поведения системы недостаточно стандартных средств прогнозирования и анализа. Поэтому одной из центральных задач в управлении современным промышленным предприятием является внедрение современных информационных технологий, позволяющих проводить полноценный и точный анализ комплексной системы со сложными взаимосвязями, предусматривающих, в частности, применение методов имитационного моделирования. Технология имитационного моделирования дает возможность создавать и проводить эксперименты с имитационной моделью производственной системы или процесса любой сложности и временной протяженности. Имитация реального процесса позволяет не только предсказать результат принятого решения, но и получить в процессе экспериментов с моделью количественные данные об его эффективности.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ рынка информационных технологий позволил выявить три доминирующие базовых концепции формализации и структуризации в современных системах моделирования, а именно агентный подход [1], непрерывный подход в форме системной динамики по Форрестеру [2] и дискретно-событийный подход [3]. Динамику работы промышленного предприятия можно представить как последовательность операций (прибытие, задержка, захват ресурса, разделение) над некими объектами (транзактами, заявками), которые не контролируют свою динамику, однако могут обладать определёнными атрибутами, влияющими на процесс их обработки или накопления статистической информации. Поэтому для разработки имитационной модели промышленного предприятия предложено использовать дискретно-событийный подход.

В работе [4] приведены характеристики более 50 современных систем имитационного моделирования. С использованием материалов конференции Winter Simulation Conference [5], в которых представлено сравнение количества и общего объема

публикаций о системах имитационного моделирования, можно сделать вывод о том, что одними из наиболее распространенных систем в рамках дискретно-событийного подхода являются Anylogic [6], Arena [7], AutoMod [8], Emplant (Tecnomatix Plant Simulation Tool) [9], Flexsim [10], GPSS [11] и Witness [12]. Характеристики систем и баллы от 0 до 10 (по мнению 100 экспертов, работающих в области имитационного моделирования) представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Характеристики наиболее распространенных систем имитационного моделирования в рамках дискретно-событийного подхода**

	Anylogic	Arena	AutoMod	Emplant	Flexsim	GPSS	Witness
Моделирование логистики	6,5	7,5	7	7,2	6,5	7,5	7
Моделирование производства	6,6	7,5	6,5	7,2	6,7	7,5	6,7
Виртуальная реальность	6,6	6,9	7,3	6,8	6,7	7	7,2
Спецпроцессор для моделирования	7	8	7,5	8	7	8	7,5
Возможности пользователей	7	8	6	7	9	8	7,5
Сообщество пользователей	6,2	9	6,7	6,5	7,5	8,5	6,6
Язык моделирования	6,8	7	6,25	6,5	6,5	6,5	6,7
Время прогона	7,5	7	6,5	6,5	7,5	7	6
Средства анализа	6,5	8	6,9	7,1	7,7	7,8	6
Внутреннее программирование	7,2	7	6	7	6,2	6,5	7
Модульная конструкция	6,1	7	6	6,5	7,5	7	7
Цена	7	6	5,6	5,8	7	6	5,7

По результатам анализа табл. 1 можно сделать вывод о том, что для решения задачи оптимизации производственных процессов на промышленном предприятии одними из наиболее эффективных являются системы имитационного моделирования Arena и GPSS.

**Целью статьи** является проведение сравнительного анализа современных систем имитационного моделирования GPSS и Arena посредством создания имитационных моделей участка термической обработки Луганского предприятия по производству автомобильных клапанов для определения характеристик операций аустенизации и старения, при которых достигался бы максимум суммарной стоимости заготовок, выпускающихся за единицу времени.

**Материалы и результаты исследования.** На участке термической обработки осуществляется аустенизация и старение заготовок автомобильных клапанов. Концептуальная модель участка термической обработки представлена на рис. 1.

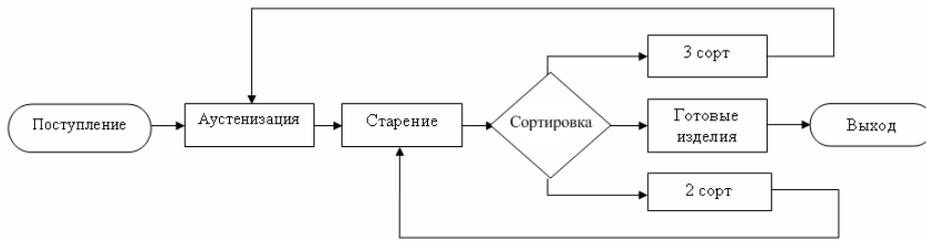


Рис. 1. Концептуальная модель участка термической обработки

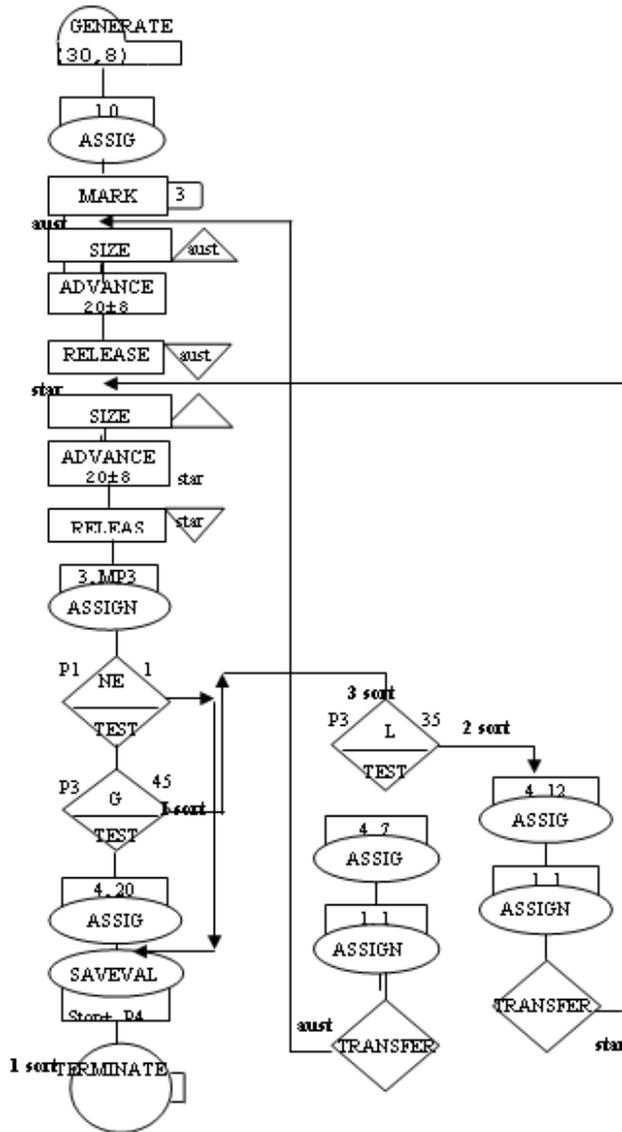


Рис. 2. Модель участка термической обработки в системе имитационного моделирования GPSS

Заготовки клапанов поступают через каждые  $30 \pm 8$  минут. Аустенизация и старение заготовок занимают по  $20 \pm 8$  мин. Качество заготовки определяется суммарным временем её обработки без учёта времени ожидания. Заготовки со временем обработки более 45 мин относятся к первому сорту и покидают участок, заготовки со временем обработки от 35 до 45 мин относятся ко второму сорту и передаются на повторное старение, а заготовки со временем обработки менее 35 мин относятся к третьему сорту и повторно проходят полную обработку. Стоимость заготовок первого, второго и третьего сорта равна 20, 12, и 7 единиц стоимости, соответственно. Увеличение на  $k$  процентов среднего времени аустенизации требует  $k \times 0.02$  единицы стоимости для каждой заготовки. Увеличение на  $q$  процентов среднего времени старения требует  $q \times 0.03$  единицы стоимости для каждой заготовки. Данные изменения могут производиться независимо друг от друга.

Модель участка термической обработки в системе имитационного моделирования GPSS представлена на рис. 2. Время моделирования – 2400 минут.

Модель участка термической обработки в системе имитационного моделирования Arena представлена на рис. 3. Время моделирования – 2400 минут.

Для оценки адекватности полученных моделей проведено сравнение характеристик, полученных при помощи операционного анализа сетей систем массового обслуживания [13], с характеристиками, полученными при моделировании. Результаты представлены в табл. 2.

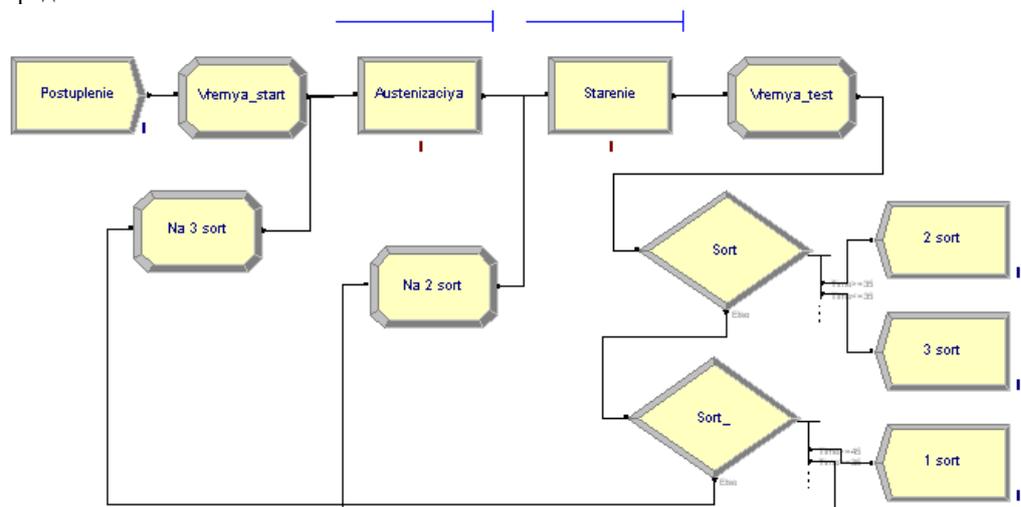


Рис. 3. Модель участка термической обработки в системе имитационного моделирования Arena

На основании полученных результатов, т.к. рассматриваемые величины сравнимы, можно сделать вывод о том, что модели участка термической обработки в системах имитационного моделирования GPSS и Arena являются адекватными.

Таблица 2

**Результаты, полученные расчётным путём и при помощи систем имитационного моделирования**

Характеристика	GPSS		Arena	
	Имитационная модель	Операционный анализ	Имитационная модель	Операционный анализ
Коэффициент использования узла, %	аустенизация – 76	аустенизация – 72	аустенизация – 74	аустенизация – 73
	старение – 93	старение – 89	старение – 91	старение – 94

Среднее время обслуживания узлов, мин	аустенизация – 20 старение – 20	аустенизация – 22 старение – 25	аустенизация – 16 старение – 18	аустенизация – 20 старение – 20
Количество требований, поступивших в систему, шт.	81	80	81	80

В процессе проведения экспериментов с имитационными моделями независимо друг от друга изменялись среднее время аустенизации (до 50%) и среднее время старения (до 50%). Увеличение среднего времени аустенизации и старения приводили к увеличению стоимости каждой заготовки клапана. В результате изменения среднего времени обработки заготовок также изменялась прибыль от реализации, коэффициент занятости узла и число деталей, которые обрабатываются. Максимум суммарной стоимости заготовок в результате имитационного моделирования при помощи системы GPSS был получен при среднем времени аустенизации и старения, равном 24 мин. При этом максимальная прибыль составила 1461 единицу стоимости. В результате моделирования, произведенного при помощи системы имитационного моделирования Arena, максимум суммарной стоимости заготовок был достигнут при среднем времени аустенизации и старения, равном 24,1 и 24,3 минуты соответственно. При этом максимальная прибыль составила 1482 единицы стоимости.

**Выводы.** При помощи систем имитационного моделирования GPSS и Arena разработаны имитационные модели участка термической обработки Луганского предприятия по производству автомобильных клапанов. По результатам сравнения характеристик, полученных при помощи операционного анализа сетей систем массового обслуживания, с характеристиками, полученными при моделировании, сделан вывод об адекватности полученных моделей. В процессе проведения экспериментов независимо друг от друга изменялись среднее время аустенизации (до 50%) и среднее время старения (до 50%). С точки зрения экономической эффективности оптимальные результаты по термической обработке заготовок автомобильных клапанов были получены в системе имитационного моделирования Arena при среднем времени аустенизации, равном 24,1 минуты, и среднем времени старения, равном 24,3 минуты, когда максимальная прибыль составила 1482 единицы стоимости, что на 21 единицу стоимости больше по сравнению с результатами, полученными в среде GPSS, и на 135 единиц стоимости больше по сравнению с результатами на производстве в настоящее время. Поэтому для оптимизации производственных процессов на предприятии предложено использовать систему имитационного моделирования Arena.

По результатам исследований можно сделать вывод о том, что в условиях нестабильности внешней среды применение методов имитационного моделирования на предприятии является экономически эффективным, т.к. позволяет расширить возможности организационного потенциала, быстро реагировать на возникающие угрозы и извлекать максимум выгоды из рыночных возможностей.

#### Л и т е р а т у р а

1. Данич В.Н. Моделирование быстрых и лавинообразных процессов / В.Н. Данич. – Луганск: ВНУ, 2010. – № 3 (145). – С. 86 – 101.
2. Официальный сайт Международного общества системной динамики [<http://www.systemdynamics.org>].
3. Дигрис А. В. Дискретно-событийное моделирование / А. В. Дигрис. – Минск : БГУ, 2011.– 201 с.

4. SWAIN J. J. Discrete event simulation software: New frontiers in simulation / J. J. SWAIN. – OR/MS Today, 2007. – V. 34 – N 5. – P. 32–43.
5. Официальный сайт Winter Simulation Conference [<http://wintersim.org>].
6. Официальный сайт системы имитационного моделирования Anylogic [<http://www.xjtek.ru>].
7. Официальный сайт системы имитационного моделирования Arena [<http://www.arenasimulation.com>].
8. Официальный сайт системы имитационного моделирования AutoMod [<http://www.automod.com>].
9. Официальный сайт системы имитационного моделирования Emplant (Tecnomatix Plant Simulation Tool) [<http://www.plm.automation.siemens.com>].
10. Официальный сайт системы имитационного моделирования Flexsim [<http://www.flexsim.com>].
11. Официальный сайт системы имитационного моделирования GPSS [<http://gpss.ru>].
12. Официальный сайт системы имитационного моделирования Witness [<http://www.witness-for-simulation.com>].
13. Лоу Аверилл М. Имитационное моделирование / Аверилл М. Лоу, В. Дэвид Кельтон С. –П.: Питер, 2004.– 848 с.

**О.С. Височина, В.М. Данич, М.К. Дьомін, Д.О.Булавін.** Порівняльний аналіз систем імітаційного моделювання для вирішення завдання оптимізації виробничих процесів промислового підприємства.

*У статті в межах дискретно-подієвого підходу розглянуто системи моделювання виробничих систем, на прикладі ділянки термічної обробки проведено порівняльний аналіз засобів імітаційного моделювання Arena та GPSS. Рис. 3. Дж. 13.*

**Ключові слова:** Arena, GPSS, дискретно-подієвий підхід, імітаційне моделювання, моделювання виробничих систем.

**O.S. Vysochyna, V.N. Danich, M.K. Dyomin, Bulavin D.O.** Comparative analysis of simulation modelling to solve optimization problem of industrial enterprises production processes.

*In article in within discrete-event approach the tools for modelling manufacturing systems were considered. In the case of thermal treatment section a comparative analysis of Arena and GPSS simulation modelling was carried out. Fig. 3. Ref.13.*

**Key words:** Arena, GPSS, discrete-event approach, simulation modelling, simulation of manufacturing systems.

Стаття надана 17.05.2012

УДК 004. 415. 2. 045 (076. 5)

**Чупринка В., Чебанюк О. В.**

*Київський національний університет технологій і дизайну, м. Київ  
Національний авіаційний університет, м. Київ*

## **ДОМЕННИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЧНОЇ ПОБУДОВИ РОЗКРІЙНИХ СХЕМ ЗІ ЗМІННИМ КУТОМ ПОВОРОТУ РЕШТОК**

*В роботі обґрунтовано необхідність дослідження засобів комбінування відомих методів побудови розкрійних схем з метою підвищення відсотка використання матеріалу. Представлені етапи доменного аналізу методів побудови розкрійних схем зі змінним кутом повороту решіток, отримана модель відповідного прикладного домену, що задовольняє концепції бережливої розробки програмного забезпечення (Lean). Проаналізовані властивості та характеристики цієї моделі.*