

4. Козуб, Н. А. От равномерного распределения случайных точек к базису трилинейной интерполяции / Н. А. Козуб, А. Н. Хомченко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2006. – № 1(24). – С. 99–102.
5. Хомченко, А. Н. Барицентрическая задача Мебиуса и одношаговые блуждания со случайным стартом / А. Н. Хомченко, А. П. Мотайло // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – № 2(41). – С. 23–26.
6. Хомченко, А. Н. Вероятностная концепция полиномиальной интерполяции в октаэдре / А. Н. Хомченко, А. П. Мотайло // Проблемы математического моделирования : междерж. науч.-метод. конф., 25–27 травня 2011 р.: тези доп. – Дніпродзержинськ, 2011. – С. 20–22.
7. Новожилов, В. В. Вопросы механики сплошной среды / В. В. Новожилов. – Л. : Судостроение, 1989. – 400 с.
8. Мотайло, А. П. Базисы шестиугольного октаэдра [Электронный ресурс] / А. П. Мотайло. // Перспективные научные исследования – 2011 : междунар. науч.-практич. конф., 17–25 февр. 2011г. : тезисы докл. – София, Болгария, 2011. – Режим доступа: <http://www.rusnauka.com>.

Стаття надійшла до редакції 29.06.2011.  
Після доробки 15.11.2011.

УДК 681.5.004.94

Хомченко А. Н., Мотайло А. П.  
ДИСКРЕТНИЙ АНАЛОГ ІНТЕГРАЛА ПУАССОНА ДЛЯ КУЛІ

У роботі розв'язана задача Діріхле для кулі з дискретно заданими умовами на границі. У ролі обчислювального шаблону використано конструкцію із гексаедра та октаедра, вписаних в кулю. Отримано дискретний аналог інтегральної формули Пуассона у вигляді пропорціональної стратифікованої вибірки.

**Ключові слова:** задача Діріхле, куля, інтеграл Пуассона, шаблон, гексаедр, октаедр.

Khomchenko A. N., Motailo A. P.  
DISCRETE ANALOGUE OF THE POISSON INTEGRAL FOR A BALL

The Dirichlet problem for the ball with discretely given conditions on the boundary is solved in the work. Construction from hexahedron and octahedron inscribed in a ball is used in the role of computational template. A discrete analogue of the Poisson integral formula in the form of a proportional stratified sampling is obtained.

**Key words:** Dirichlet problem, ball, Poisson integral, pattern, hexahedron, octahedron.

Высочина О. С.<sup>1</sup>, Данич В. Н.<sup>2</sup>, Пархоменко В. П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Канд. техн. наук, доцент Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля

<sup>2</sup>Д-р эконом. наук, декан Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля

<sup>3</sup>Канд. государственного управления, доцент Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ARENA

В статье представлена имитационная модель производственного процесса промышленного предприятия по производству автомобильных клапанов. Приведено описание процесса построения модели и полученных результатов моделирования.

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

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современный этап развития экономики Украины характеризуется изменением условий хозяйственной деятельности. Для новых, рыночных условий функционирования промышленных предприятий характерны жесткая конкуренция, недостаточные инвестиции в производство, а также многочисленные факторы неопределенности внутренней и внешней среды. В сочетании со сверхнормативным износом оборудования это приводит к появлению разнообразных видов рисков, ставящих под сомнение возможность стабильной работы предприятий. Используемые на предприятиях системы управления производством позволяют осуществлять контроль состояния и распределения ресурсов, диспетчеризацию производства, управление документами, сбор и хранение данных о технологических процессах. Однако указанных возможностей недостаточно для принятия эффективных управленческих решений. В связи с этим

возникает необходимость разработки единой модели производства, позволяющей осуществлять комплексный анализ и прогноз развития предприятия, позволяя при этом оценить возможные риски реализации тех или иных проектов, а также их взаимное влияние. Разработка единой аналитической модели производства на современном этапе развития науки остается неразрешимой задачей, что в совокупности со стремительным прогрессом информационных технологий создает предпосылки к широкому применению средств имитационного моделирования в решении управленческих задач. Поэтому разработка эффективной и гибкой имитационной модели производственных процессов промышленного предприятия является чрезвычайно **актуальной задачей**.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Имитационное моделирование является средством решения задач анализа, планирования и реконструкции произ-

водственных и логистических систем. В настоящее время существует три базовых подхода к созданию имитационных моделей, отображающих процессы в системах такого типа: агентный подход, непрерывный подход в форме системной динамики по Форрестеру и дискретно-событийный подход.

Агентный подход используется для исследования децентрализованных систем, когда глобальные правила и законы являются результатом индивидуальной активности членов группы. Цель агентных моделей – получение представлений о глобальных правилах, общем поведении системы, исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и взаимодействии этих объектов в системе [1]. Системно-динамический подход представляет собой мощный инструмент для исследования динамических процессов, направленный на изучение сложных систем и позволяющий выявить причинно-следственные связи между объектами и явлениями [2]. Дискретно-событийный подход предполагает абстрагирование от природы событий и рассматривает только основные события моделируемой системы, такие как: «ожидание», «обработка заказа», «движение с грузом», «разгрузка» и другие. В отличие от системно-динамического подхода для управления системным временем используется принцип особых состояний, когда текущее начальное состояние изменяется на величину, определяемую значением ближайшего момента наступления события, что является удобным при описании технологических процессов, когда возникает необходимость отображения в модели таких событий, как «поломка станка», «окончание обработки детали» и т. д. [3]. В работе [4] проведен сравнительный анализ систем имитационного моделирования и сделан вывод о том, что для моделирования производственных процессов на предприятии одним из наиболее эффективных является использование системы имитационного моделирования Agena в рамках дискретно-событийного подхода.

**Целью** статьи является разработка имитационной модели производственных процессов Луганского предприятия по производству автомобильных клапанов, которая позволит рассчитывать основные экономические показатели работы предприятия и оценивать мероприятия, направленные на повышение эффективности его функционирования.

**МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Процесс работы Луганского предприятия по производству автомобильных клапанов можно представить как множество определенным образом организованных материальных, финансовых и информационных потоков. Концептуальная модель представлена на рис. 1, где  $\Rightarrow$  – материальный поток, --- – информационный поток,  $\rightarrow$  – финансовый поток.

Для разработки имитационной модели производственных процессов на предприятии рассматривалось движение материальных потоков. Под материальными потоками понимались как сырье и материалы, так и полуфабрикаты, и готовые изделия, в процессе приложения к ним различных логистических операций и отнесенные к определенному временному интервалу. Под логистическими операциями понимались «отгрузка», «транспортировка», «разгрузка», «комплектация», «складирование», «упаковка», а также другие вспомогательные операции. Движение материальных потоков зависит от содержания информационных потоков, так как в основе процесса управления материальными потоками лежит обработка информации. Информационный поток – совокупность сообщений, циркулирующих как внутри предприятия, так и между предприятием и внешней средой. На базе этих сообщений организуется управление производственными и логистическими процессами на предприятии. Совокупность движения денежных средств во времени, сгруппированных по какому-либо признаку и представленных в виде функции времени, представлена в качестве финансового потока. Материальные потоки на своем пути проходят несколько этапов преобразования. В ходе логистического процесса сырье поступает на предприятие от поставщиков, затем на производственных участках организуется его рациональное использование, на последнем этапе готовая продукция (автомобильные клапана) поставляется потребителям в соответствии с принятыми от них заказами.

Для генерации поступления сырья при построении имитационной модели производственных процессов Луганского предприятия по производству автомобильных клапанов в системе имитационного моделирования Agena использовался блок 'CREATE'. Интервал времени

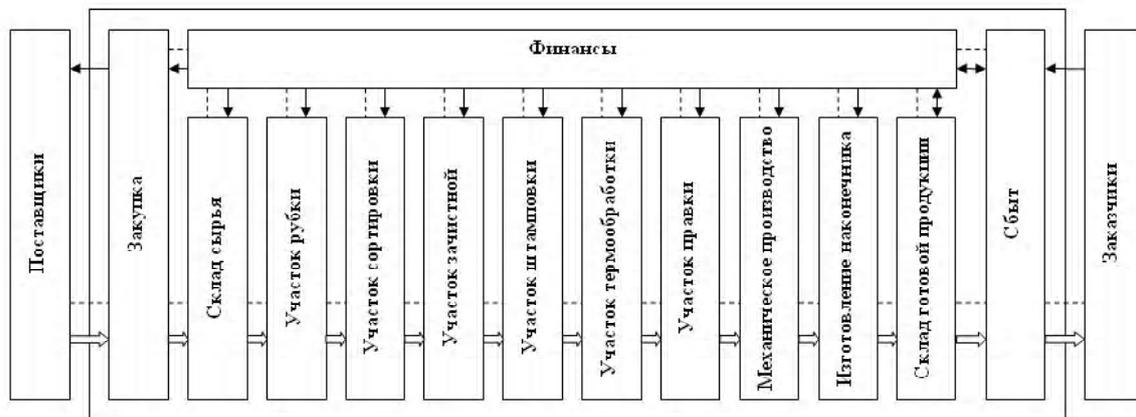


Рис. 1. Концептуальная модель предприятия по производству автомобильных клапанов

між появою вимог складало 0,169 годин, що відповідає реальному інтенсивності надходження деталі з клапанної сталі на даний ділянку підприємства. Блок 'ASSIGN' використовувався для встановлення часу обробки деталі на верстаті. Для кращої візуалізації моделі даний блок представлений для кожного верстата, які оголошені в елементі 'ATTRIBUTES'. Блок 'QUEUE' використовувався для утримання вимог до тих пір, поки верстат не стане доступним. В елементі 'QUEUES' задавалися характеристики черед. При допомозі блоку 'SEIZE' за деталлю закріплювався певний ресурс. Блоки 'CREATE', 'ASSIGN', 'QUEUE' і 'SEIZE' представлені на рис. 2.

Для імітації ймовірних і детермінованих рішень використовувався блок 'BRANCH' (см. рис. 3).

Елемент 'RESOURCES' містить всю інформацію, необхідну для повного встановлення ролі пристрою обслуговування (верстата) в моделі. Для імітації обробки кожної деталі на верстаті використовувався блок 'DELAY'. При допомозі блоку 'RELEASE' деталь звільняє верстат.

Для зміни потужності ресурсів, а саме для складання розкладу роботи верстатів, використовувався елемент 'SCHEDULES' (см. рис. 4).

Для підрахунку кількості вимог, що проходять через певні точки в моделі, разом з елементом 'COUNTERS' використовувався блок 'COUNT'. Для збору статистичних даних об окремих спостережен-

нях в поєднанні з елементом 'TALLIES' використовувався блок 'TALLY' (см. рис. 5).

При допомозі блоку 'DISPOSE' моделювався уход вимог з системи. Елемент 'REPLICATE' застосовувався для встановлення багатократних проходів з різними параметрами. Для перевірки логіки моделі використовувалися засоби анімації.

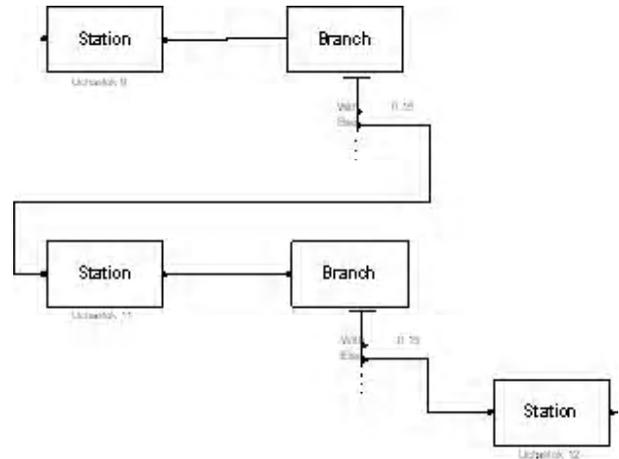


Рис. 3. Використання елемента 'BRANCH' в моделі виробництва автомобільних клапанів в системі імітаційного моделювання Arena



Рис. 2. Використання блоків 'CREATE', 'ASSIGN', 'QUEUE' і 'SEIZE' в моделі виробництва автомобільних клапанів в системі імітаційного моделювання Arena

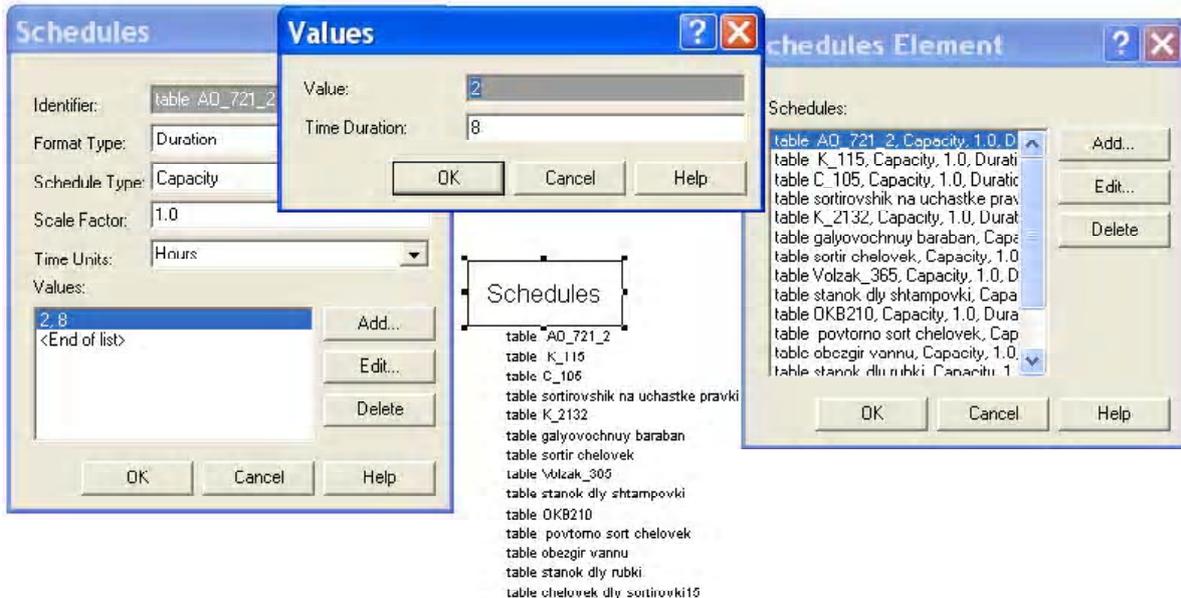


Рис. 4. Використання елемента 'SCHEDULES' в моделі виробництва автомобільних клапанів в системі імітаційного моделювання Arena

Для оценки адекватности разработанной модели проведено сравнение характеристик, полученных при помощи операционного анализа сетей систем массового обслуживания [5], с характеристиками, полученными при моделировании. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что имитационная модель производственных процессов Луганского предприятия по производству автомобильных клапанов является адекватной.

По результатам имитационного моделирования выявлено, что одним из наиболее проблемных является участок штамповки. За один рабочий день в очереди на обслуживание скапливается 2136 заготовок. Стоимость преса для штамповки клапанов составляет 1 800 000 грн. Полная стоимость одной единицы клапана составляет 47,66 грн. Себестоимость одной единицы клапана составляет 30,50 грн. Если предприятие приобретет еще один станок, то очередь, в которой детали ожидают освобождения станка, уменьшится в 89 раз (см. рис. 6), производительность предприятия увеличится на 700 единиц в день. Срок окупаемости оборудования составит 7 с половиной месяцев (7,494295), после чего предприятие будет получать чистую прибыль в месяц на 240182,7 грн. больше, чем до покупки оборудования.

## ВЫВОДЫ

В рамках дискретно-событийного подхода при помощи системы моделирования Arena разработана имитационная модель производственных процессов Луганского предприятия по производству автомобильных клапанов.

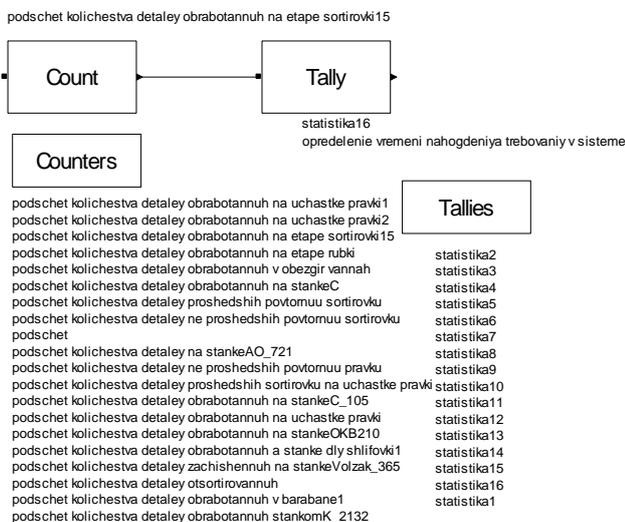


Рис. 5. Сбор статистических данных в модели производства автомобильных клапанов в системе имитационного моделирования Arena

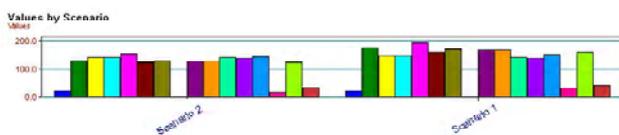


Рис. 6. Сравнительная диаграмма производительности ресурсов, полученная в результате анализа данных при помощи инструмента Process Analyzer (Scenario 1 – состояние очередей в модели до оптимизации, Scenario 2 – состояние очередей в модели после оптимизации)

панов. Рассмотрены основные экономические показатели работы предприятия, на основе анализа полученных результатов выявлено, что наиболее проблемным участком в процессе производства автомобильных клапанов является участок штамповки. Для повышения эффективности функционирования предприятия предложено купить дополнительный пресс для штамповки, тогда по результатам моделирования очередь, в которой детали ожидают освобождения станка для штамповки, уменьшится в 89 раз, производительность предприятия увеличится на 700 единиц в день, срок окупаемости оборудования составит 7 с половиной месяцев, после чего прибыль увеличится на 240182,7 грн. в месяц.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработанная имитационная модель является мощным научно-прикладным средством для решения задач с целью повышения эффективности работы предприятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данич, В. Н. Моделирование быстрых и лавинообразных процессов / В. Н. Данич. – Луганск : ВГУ, 2010. – № 3 (145). – С. 86–101.
2. Международное общество системной динамики [Электронный ресурс] = System Dynamics Society : представляет собой профессиональную ассоциацию специалистов в области системной динамики – профессоров ВУЗов, практиков-консультантов и преподавателей со всего мира. – Электрон. дан. – [199-?]. – Режим доступа: <http://www.systemdynamics.org>, свободный – Загл. с экрана. – Яз. англ.
3. Дигрис, А. В. Дискретно-событийное моделирование / А. В. Дигрис. – Минск : БГУ, 2011. – 201 с.
4. Высочина, О. С. Сравнительный анализ систем имитационного моделирования для решения задачи оптимизации производственных процессов промышленного предприятия / О. С. Высочина, В. Н. Данич., М. К. Демин // Вестник Восточноукр. национ. ун-та им. В. Даля – Луганск : ВГУ им. В. Даля, 2012. – № 8 (179), ч. 1. – С. 47–51.
5. Лоу Аверилл, М. Имитационное моделирование / Аверилл М. Лоу, В. Дэвид Кельтон С. Пб. : Питер, 2004. – 848 с.

Статья надійшла до редакції 17.02.2012.

Височина О. С., Данич В. М., Пархоменко В. П.  
МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ НА  
ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ ЗА ДОПОМОГОЮ  
СИСТЕМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ARENA

У статті представлено імітаційну модель виробничого процесу промислового підприємства з виробництва автомобільних клапанів. Наведено опис процесу побудови моделі та отриманих результатів моделювання.

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

Vysochyna O. S. Danich V. N., Parkhomenko V. P.  
MANUFACTURING PROCESSES MODELING OF  
INDUSTRIAL ENTERPRISES BY MEANS OF ARENA  
SYSTEM SIMULATION

The article presents a manufacturing processes simulation model of industrial car valves production enterprises. A description of the model building and simulation results were considered.

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