

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 330.4+658.512

© В. П. Махитько¹, В. М. Рамзаев², Г. М. Гришанов³, 2019

¹ Ульяновский институт гражданской авиации им. Главного маршала авиации Б. П. Бугаева (УИ ГА), Россия

² Самарский университет государственного управления
«Международный институт рынка»
(Университет «МИР»), Россия

³ Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева
(Самарский университет), Россия

E-mail ^{1,2,3}: charming_carrot@mail.ru

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УЧАСТКОВ В СРЕДЕ TERNOMATIX PLANT SIMULATION

Статья посвящена вопросам определения экономической эффективности применения имитационной модели производственного участка в Ternomatix Plant Simulation. Авторами рассмотрен метод оптимизации последовательности запуска производственных заказов при планировании многономенклатурного производства. В результате моделирования и применения генетического алгоритма новая последовательность запуска деталей (производственных заказов) обеспечила сокращение длительности производственного цикла на 4 часа, высвобождение производственных мощностей, сокращение производственной себестоимости на 14%.

Ключевые слова: имитационное моделирование, производственный участок, последовательность запуска, длительность производственного цикла.

Одним из основных направлений применения методов имитационного моделирования является анализ длительности производственного процесса, загрузки производственных мощностей и выявление «узких» мест. Анализ загрузки мощностей заключается в соотношении установленной трудоемкости по видам технологических операций всех заказов, включенных в план, и имеющегося оборудования, способного выполнять технологические операции с целью оценки возможности выполнения установленного плана

производства. Результатом проведенного анализа загрузки мощностей и длительности технологического процесса является принятие решения о выполнимости производственного плана, при этом «узкие» места принимаются как основа для организации через них управления производством. Если анализ признается неудовлетворительным, то принимается решение либо об изменении плана изготовления, либо о расшивке имеющихся «узких» мест для повышения пропускной способности и продуктивности производственного процесса [1].

Цель данной работы — сократить производственные издержки и длительность производственного цикла за счет построения имитационной модели производственного участка и оптимизации последовательности запуска заказов.

Объектом исследования является многономенклатурная производственная система, а *предметом исследования* — методы оптимизации последовательности запуска деталей и сокращения длительности производственного цикла.

Имитационная модель производственного процесса реализована с использованием объектно-ориентированного языка имитационного моделирования EML событийного типа. Она ориентирована прежде всего на дискретные производственные системы с единичным и мелкосерийным характером производства. Основное назначение системы Tecnomatix Plant Simulation выражается при осуществлении оперативного планирования и управления. Симуляция производственной системы в конечном итоге позволяет определить и оптимизировать: выполнение всех заказов в срок; минимизацию затрат; непрерывность производства; равномерную загрузку оборудования [2]. В имитационной модели учитываются следующие факторы производства: потребление материальных ресурсов; наличие необходимых трудовых ресурсов; структура производственного процесса; наличие необходимого оборудования и сбои в его работе; появление производственного брака; временные задержки на переналадку оборудования; затраты времени на транспортировку обработанных деталей.

Использование имитационного моделирования в процессе управления производством позволяет спрогнозировать поведение и будущее состояние производственной системы, что существенно повышает точность разрабатываемых планов производства. С другой стороны, модель дает возможность оценить альтернативные варианты управленческих воздействий, тем самым повышая качественный уровень принимаемых управленческих решений [3].

Основные показатели, которые подвергаются оптимизации в первую очередь, это: затраты процесса, продолжительность процесса, количество обслуженных клиентов или количество произведенного продукта.

Современные производственные системы представляют собой сложный динамический объект, на который влияет ряд внешних факторов: сбой в транспортно-складской системе; введение в производство новой детали; выход из строя технологического оборудования.

Применение техник имитационного моделирования расширяет возможности традиционных CASE-средств и языков организационного моделирования и обеспечивает: визуализацию бизнес-процессов, возможности проводить анализ узких мест в динамике; возможности сбора и анализа количественных, временных и стоимостных показателей эффективности бизнес-процессов; проведение ABC-анализа с привязкой к процессам в реальном времени; выполнение реинжиниринга, сравнение по количественным показателям вариантов «как есть» и «как должно быть» (с применением статистических тестов); оптимизацию бизнес-процессов с применением развитых генетических алгоритмов [4].

В общем виде задачу планирования производства на базе ее имитационной модели можно описать следующим образом: имеется n деталей, которые необходимо обработать на L станках. При этом необходимо составить расписание работы оборудования, очередность запуска деталей в производство и размеры партий запуска, которые будут удовлетворять одновременно нескольким критериям оценки качества расписания [5].

Основные критерии, по которым можно оценить эффективность производственного расписания:

1. Минимизация длительности цикла изготовления деталей:

$$T_{\text{опт}} = T \rightarrow \min$$

где:

T – общее время производственного цикла.

$$T = \sum_{k=1}^n \left(\sum_{j=1}^n T_{ij} + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \right)$$

где:

T_{ij} – длительность цикла технологической операции i -ой партии деталей;

α_{ij} – длительность простоя перед началом выполнения j -ой технологической операции над i -ой партией деталей.

2. Максимизация среднего коэффициента загрузки технологического оборудования (максимизация загрузки оборудования):

$$K_{\text{оптз}} = \frac{1}{m} * \sum K_3 \rightarrow \max, \text{ или } K_{\text{оптз}} = \frac{1}{m} * \sum K_3 \rightarrow \min ,$$

где:

m — количество оборудования;

K_3 — коэффициент загрузки i -го оборудования.

Коэффициент загрузки i -го оборудования определяется отношением времени производительной работы к общему времени по формуле:

$$K_3 = \frac{\sum_{j=1}^n T_{ij}}{\sum_{j=1}^n T_{ij} + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}} .$$

3. Минимизация временных затрат на перенастройку оборудования:

$$t_H = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} \rightarrow \min ,$$

где:

t_H — общее время, затраченное на перенастройку оборудования;

τ_{ij} — время, затраченное на перенастройку i -го станка j -ый раз;

n — количество перенастроек, т.е. фактически необходимо минимизировать количество перенастроек:

$$n \rightarrow \min .$$

При этом необходимо учитывать следующие ограничения:

1. Ограничения по объемам изготовления:

$$N_{\text{пл}} = N_{\text{ф}} ,$$

где:

$N_{\text{ф}}$ — фактическое изготовленное количество деталей i -го типа ($i = 1 \dots K$);

$N_{\text{пл}}$ — заданное в производственной программе количество деталей i -го типа;

K — номенклатура изготавливаемых деталей.

2. Ограничения по срокам изготовления:

$$T_{\text{пл}} \geq T_{\text{ф}} ,$$

где:

T_{ϕ} – фактический срок изготовления i -ой детали ($i = 1 \dots K$);

T_{nl} – директивный срок изготовления i -ой детали.

3. Ограничение по фонду времени работы технологического оборудования:

$$\sum_{i=1}^n N_{nl} \sum_{j=1}^m T_{ij} \leq R_i$$

где:

T_{ij} – длительность выполнения технологической операции;

R_j – ресурс i -ой группы оборудования.

Задачей управления является обеспечение выпуска продукции согласно производственной программе (N_{nl}) по количеству и в установленные сроки при эффективном использовании ресурсов (R_j) в условиях действия возмущений (V_k). Обеспечение высокой эффективности использования ресурсов (R_j) и функционирования цеха в целом достигается за счет оптимизации расписаний работы оборудования с применением имитационной модели.

Процесс изготовления деталей D_i ($i=1 \dots n$) разбивают на технологические операции O_{ij} ($i=1 \dots n; j=1 \dots m$). Детали одного типа объединяются в транспортные партии и в разрезе расписаний рассматриваются как технологическая единица. Каждая операция может быть выражена:

$$O_{ij} = \langle H_{ij}, T_{ij} \rangle$$

где:

H_{ij} – номер группы технологического оборудования;

T_{ij} – продолжительность выполнения операции.

Технологический маршрут представляет собой последовательность выполняемых операций, которые проходит i -я деталь в процессе обработки: $M_i = \langle O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{im} \rangle$. Операция O_{ij} должна выполняться без перерыва с самого начала. Если обозначить через t_{ij} – время начала выполнения операции O_{ij} , а через t'_{ij} – момент окончания обработки, то должно выполняться равенство: $t'_{ij} = t_{ij} + T_{ij}$. Очевидно, что время начала обработки зависит от времени выполнения предыдущих операций и всегда выполняется неравенство: $t_{ij} \leq t_{ij+1}$. Тогда совокупность $\{t_{ij}\}$ ($i = 1 \dots n; j = 1 \dots m$), удовлетворяющая всем технологическим и временным ограничениям, является расписанием работы.

Для построения адекватной модели технологического комплекса используется объектно-ориентированный подход. В качестве алгоритма оптимизации используется генетический алгоритм:

$$C^1_i = [m_1, m_2, \dots, m_n], C^2_i = [k_1, k_2, \dots, k_n],$$

где:

m и k – натуральные числа,

n – размер популяции.

Первый уровень хромосом кодирует различные варианты последовательностей запуска деталей по их типам на технологический участок. Каждой хромосоме первого уровня сопоставляется хромосома второго уровня, в которой содержится информация о величине партий запуска для каждого типа детали. Начальные решения (хромосомы первой популяции) формируются случайным образом, затем генетический алгоритм производит перебор очередности и размеров партий запуска, поступающих в обработку.

Пример моделирования производственного участка в среде TECNOPLANT SIMULATION.

На рисунке 1 представлены модель производственного участка, состоящего из четырех установок (а), и данные о производственном заказе и времени обработки (б).

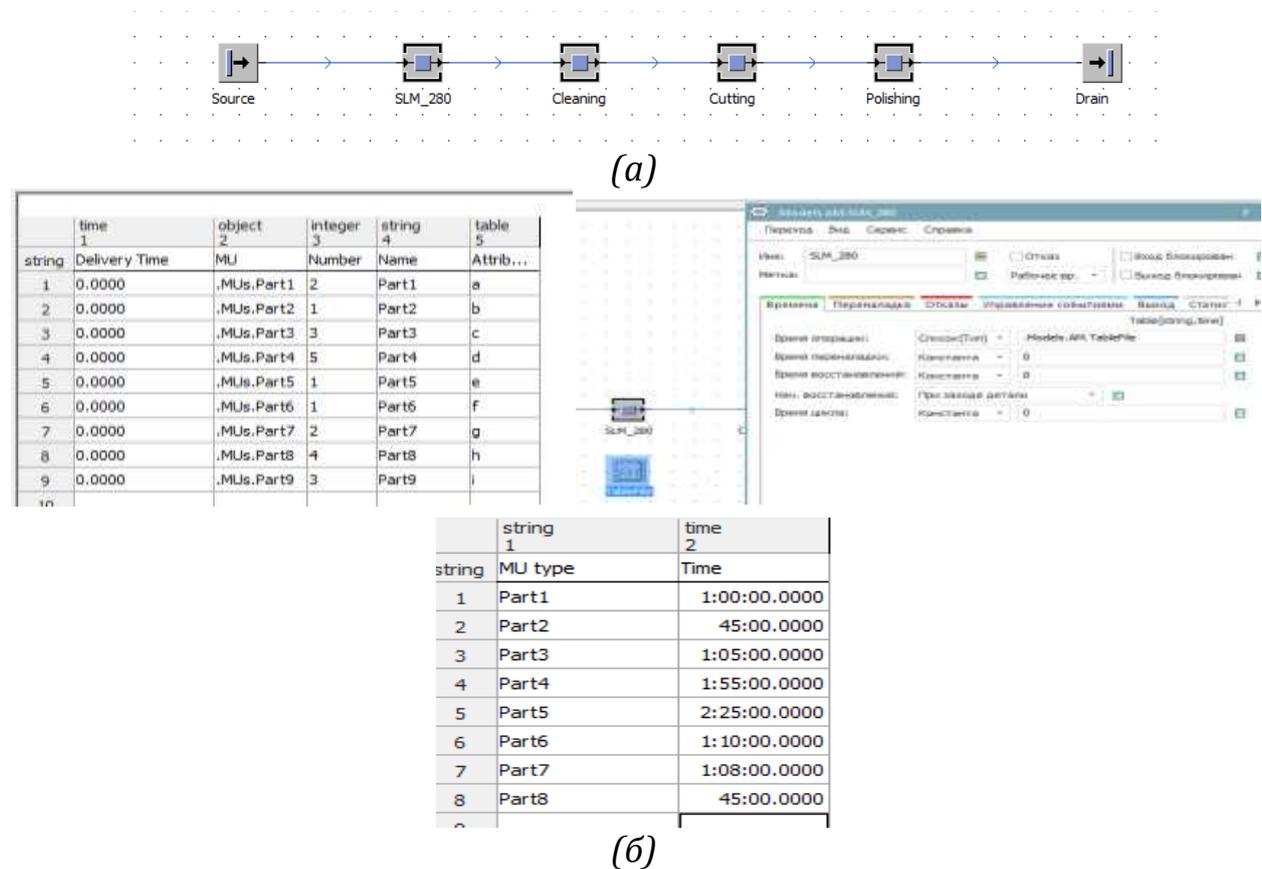


Рис. 1. Производственная система

Анализ работы производственного участка с использованием имитационной модели приведен на рисунке 2. Представлены данные о времени изготовления деталей в заказах: part₁...part₉ в виде накопленной статистики деталей. На графике приведены значения загрузки основного оборудования: SLM280, Cleaning, Cutting, Polishing. Как видно из анализа, загрузка не равномерная, общее время производства составляет 1 день 4 часа 19 минут, изготовлено 22 детали. Из статистики работы оборудования виден процент времени работы, наладки, ожидания и отказов.

Основной целью создания имитационной модели производственного участка является оптимизация его работы, заключающаяся в сокращении длительности производственного цикла путем определения рациональной последовательности запуска деталей.

Время моделирования: 1:04:19:00.0000

Накопленная статистика деталей, уничтоженных стоком

Объект	Имя	Среднее время жизни	Пропускная способность	ТРН	Производство	Транспорт	Хранение	Значение добавлено	Часть
Drain	Part1	2:11:00.0000		2	0	100.00%	0.00%	0.00%	77.10%
Drain	Part2	2:26:00.0000		1	0	100.00%	0.00%	0.00%	58.90%
Drain	Part3	2:44:20.0000		3	0	100.00%	0.00%	0.00%	64.50%
Drain	Part4	4:21:00.0000		5	0	100.00%	0.00%	0.00%	59.77%
Drain	Part5	5:01:00.0000		1	0	100.00%	0.00%	0.00%	61.79%
Drain	Part6	4:16:00.0000		1	0	100.00%	0.00%	0.00%	43.36%
Drain	Part7	2:58:00.0000		2	0	100.00%	0.00%	0.00%	61.24%
Drain	Part8	2:16:45.0000		4	0	100.00%	0.00%	0.00%	62.89%
Drain	Part9	2:42:40.0000		3	0	100.00%	0.00%	0.00%	64.55%

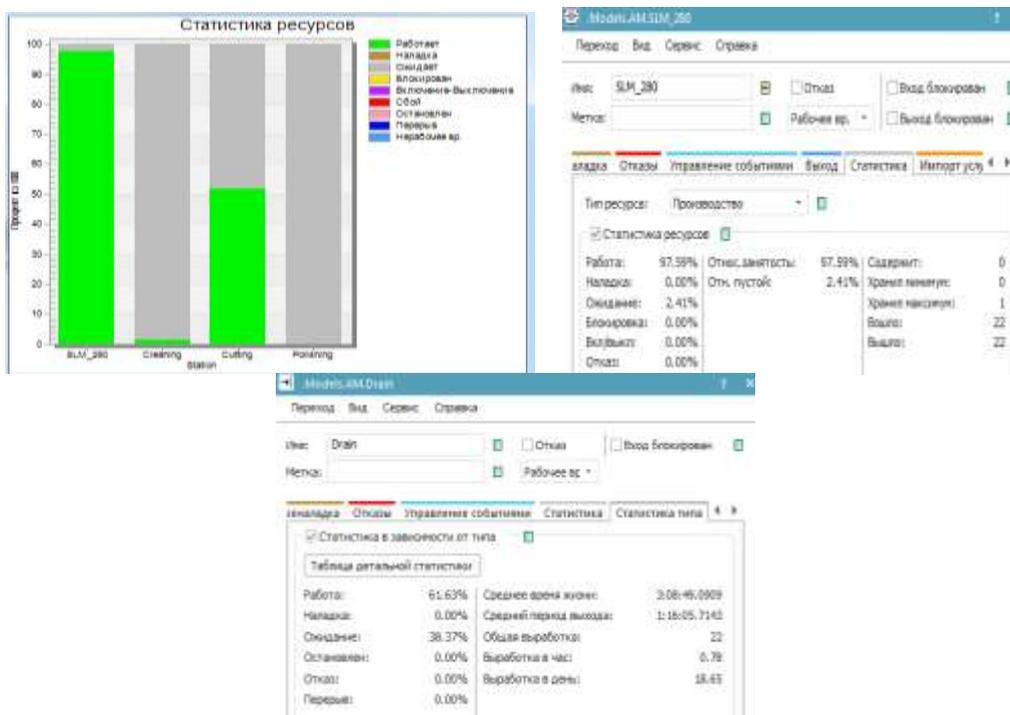


Рис. 2. Анализ работы производственного участка

Для определения оптимальной последовательности запуска в производство деталей part₁...part₉ использовали инструмент

Тесnomatix Plant Simulation GAWizard (генетические алгоритмы). С его помощью были заданы целевая функция simTime и параметры оптимизации (см. рис. 3).

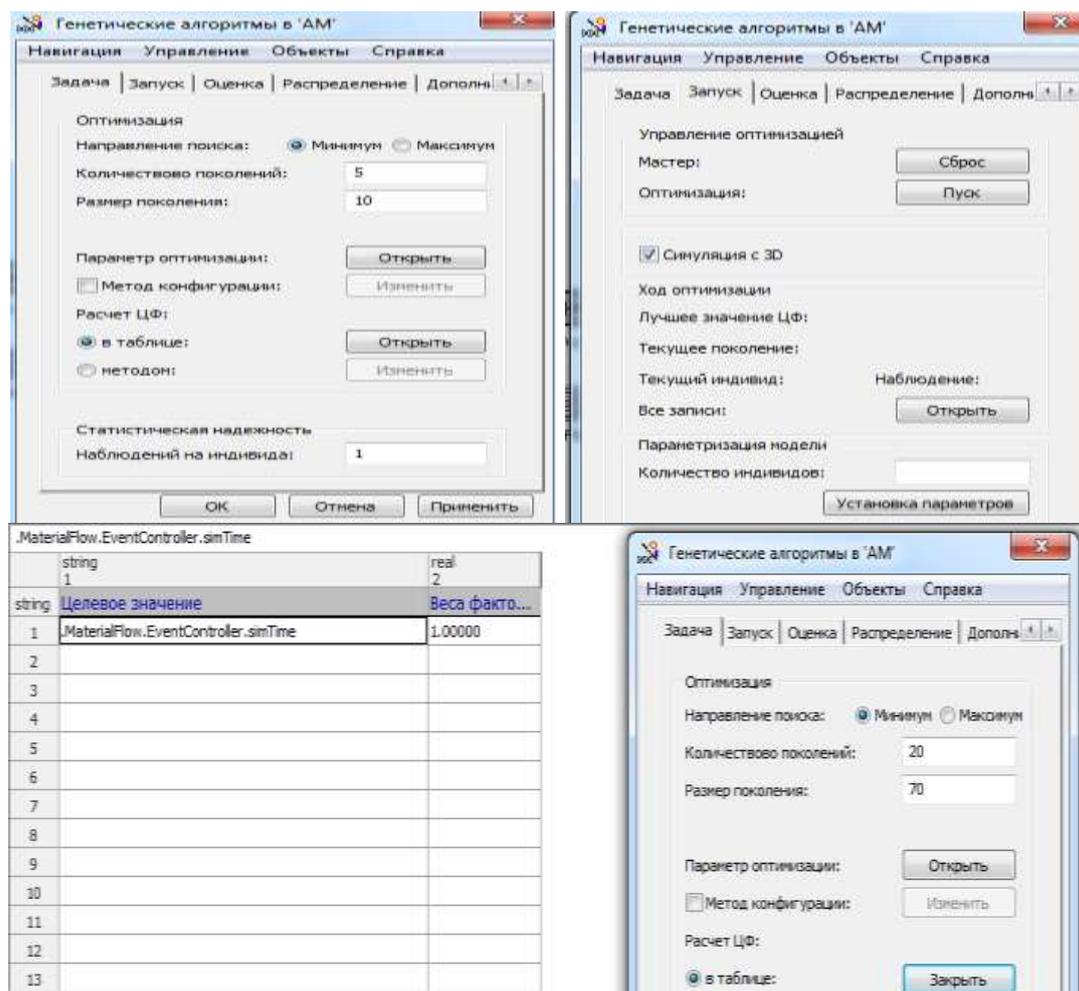


Рис. 3. Параметры оптимизации последовательности запуска деталей в Tecnomatix Plant Simulation GAWizard

Для оптимизации работы производственного участка в ходе исследования использовались пять основных объектов GAWizard:

- 1) количество и размер поколений,
- 2) параметры оптимизации (минимум или максимум),
- 3) условие прекращения,
- 4) определение выбора родителей и потомства,
- 5) элементы управления (например, для расчета пригодности, запись).

В результате моделирования и применения генетического алгоритма новая последовательность запуска деталей (производственных заказов) обеспечила сокращение длительности производственного цикла на 4 часа, высвобождение производственных мощностей, сокращение производственной себестоимости на 14% (см. рис. 4).

0.0000								
	time 1	object 2	integer 3	string 4	table 5	integer 6	integer 7	string 8
string	Delivery Time	MU	Number	Name	Attrib...	Orig	Chrom	
1	0.0000	.MUs.Part5	1	Part5	e	5	1	
2	0.0000	.MUs.Part8	4	Part8	h	8	2	
3	0.0000	.MUs.Part4	5	Part4	d	4	3	
4	0.0000	.MUs.Part6	1	Part6	f	6	4	
5	0.0000	.MUs.Part2	1	Part2	b	2	5	
6	0.0000	.MUs.Part1	2	Part1	a	1	6	
7	0.0000	.MUs.Part3	3	Part3	c	3	7	
8	0.0000	.MUs.Part9	3	Part9	i	9	8	
9	0.0000	.MUs.Part7	2	Part7	g	7	9	
10								

Время моделирования: 1:00:19:00.0000

Накопленная статистика деталей, уничтоженных стоком

Объект	Имя	Среднее время жизни	Пропускная способность	ТРН	Производство	Транспорт	Хранение	Значение добавлено	Часть
Drain	Part1	2:11:00.0000	2	0	100.00%	0.00%	0.00%	77.10%	
Drain	Part2	2:00:00.0000	1	0	100.00%	0.00%	0.00%	58.90%	
Drain	Part3	2:00:20.0000	3	0	100.00%	0.00%	0.00%	64.50%	
Drain	Part4	4:21:00.0000	5	0	100.00%	0.00%	0.00%	59.77%	
Drain	Part5	5:01:00.0000	1	0	100.00%	0.00%	0.00%	61.79%	
Drain	Part6	4:00:00.0000	1	0	100.00%	0.00%	0.00%	43.36%	
Drain	Part7	2:00:00.0000	2	0	100.00%	0.00%	0.00%	61.24%	
Drain	Part8	2:16:45.0000	4	0	100.00%	0.00%	0.00%	62.89%	
Drain	Part9	2:00:40.0000	3	0	100.00%	0.00%	0.00%	64.55%	

Рис. 4. Результаты перераспределенного производственного заказа

Таким образом, на основании проведенной симуляции работы производственного участка можно сделать вывод о том, что применение имитационных моделей в Tecnomatix Plant Simulation GAWizard при условиях многономенклатурности и единичного производства свидетельствует о целесообразности и экономической эффективности их применения и методов оптимизации (например генетических алгоритмов) при планировании и составлении расписания производства.

Литература

1. Рамзаев В. М., Павлович В. Е., Петренко В. С. Экономические проблемы при выборе основных средств предприятиями малого и микробизнеса // Вестник Самарского муниципального института управления. 2016. № 4. С. 52-59.
2. Дровяников В. И., Хаймович И. Н. Имитационное моделирование управления социальным кластером в системе Any Logic // Фундаментальные исследования. 2015. № 8-2. С. 361-366.
3. Хаймович И. Н., Скрипачев Д. Г., Колесникова С. Ю. Имитационное моделирование производственного цикла изготовления провода // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева (Национального исследовательского университета). 2015. Т. 14. № 4. С. 151-155.

4. Проничев Н. Д., Смелов В. Г., Кокарева В. В., Малыхин А. Н. Имитационное моделирование производственной системы механообрабатывающего цеха // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6-4. С. 937-943.

5. Ведунов А. А., Кокарева В. В., Фомина В. Д. Визуальное управление цехом с помощью Tecnomatix Plant Simulation // Наука и инновации в технических университетах: материалы X Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Санкт-Петербург, 26-28 октября). С.Пб., 2016. С. 121-123.

*Статья поступила в редакцию 29.07.19 г.
Рекомендуется к опубликованию членом Экспертного совета
канд. экон. наук М. М. Васильевым*