

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ АДЕКВАТНОСТИ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ****В. Д. Боев (Санкт-Петербург)**

При имитационном моделировании (ИМ) дискретных процессов в современной практике в качестве инструментального средства получила широкое распространение система общецелевого назначения GPSS World, являющаяся последним в данное время представителем семейства языков моделирования GPSS. Идеи, заложенные создателем GPSS Джеффри Гордоном, использовались во многих последующих специализированных языках и средах ИМ.

В течение полувека, подвергаясь непрерывной эволюции, язык GPSS находил и находит применение в новых типах компьютеров и операционных систем.

В последние годы наряду с ней применяется отечественная система моделирования AnyLogic (новая версия 6). Система AnyLogic разработана компанией XJTechnologies на основе современных концепций в области информационных технологий и результатов исследований в теории гибридных систем и объектно-ориентированного моделирования. AnyLogic – комплексный инструмент, охватывающий основные направления моделирования: дискретно-событийное, системной динамики, агентное.

Необходимым условием для оценки возможностей новой системы моделирования является её способность воспроизводить модели одинаковых процессов с не меньшей эффективностью, чем это сделано с помощью других систем, в данном случае GPSS World. Если эффективность (точность и достоверность) получаемых результатов GPSS World подтверждена многолетней практикой использования при проектировании, создании и эксплуатации сложных систем, то система AnyLogic пока не имеет такой многолетней практики. Поэтому сопоставление её с GPSS World с точки зрения сравнения результатов моделирования является весьма актуальным. Кроме того, в такой прямой постановке автором работ не обнаружено. Известна лишь статья [1], в которой «дискриминационный анализ систем имитационного моделирования», в том числе GPSS World и AnyLogic, посвящён очевидным характеристикам, благодаря которым преимущества, конечно, на стороне AnyLogic.

Математическая модель, являясь абстрактным образом моделируемого объекта или процесса, не может быть его полным аналогом. Достаточно сходства в тех элементах, которые определяют цель исследования. Для качественной оценки сходства вводится понятие адекватности модели объекту или процессу.

Данная статья является вариантом обобщения исследований, в ходе которых не ставилась задача дать всестороннюю оценку достоинствам и недостаткам обеих систем. Подготовленный читатель может, исходя из стоящих перед ним целей моделирования, сформулировать оценки такого плана. Основное внимание сосредоточено на сравнительной оценке результатов моделирования, полученных на моделях одной и той же системы. При одинаковых с требуемой точностью результатах моделирования автор счёл возможным назвать такие системы адекватными. Поэтому слово «адекватность» и включено в название статьи. Адекватность достигалась также стремлением к идентичной реализации всех функций моделируемой системы при построении моделей средствами GPSS World и AnyLogic.

При исследовании с целью получения более достоверных результатов рассматривается моделирование процессов в разнородных системах, но с использованием дискретно-событийного подхода. Всего было разработано более двадцати моделей. Сравнительные оценки результатов моделирования некоторых из них ранее были даны в [2,

3]. В настоящей статье такие оценки приводятся для других четырёх моделей (из-за ограниченности объёма статьи):

- Модель изготовления в цехе деталей.
- Модель функционирования предприятия.
- Модель предоставления ремонтных услуг.
- Модель функционирования сети связи.

Модель изготовления в цехе деталей позволяет исследовать влияние качества выполнения операций на количество и относительную долю готовых и забракованных деталей. Из табл. 1 видно, что разница в определении доли готовых деталей $\Delta_1 = 0,003$.

Таблица 1

Показатели функционирования цеха

Показатели	Системы моделирования							
	GPSS World				AnyLogic			
	Начальные числа генераторов случайных чисел							
	23	731	9722	72685	23	731	9722	72685
Время работы цеха 8 ч (480 мин)								
готДетали	9,885	9,909	9,884	9,905	9,882	9,967	9,906	9,927
доляГотДет	0,721	0,721	0,721	0,722	0,723	0,724	0,723	0,722
бракДетали	3,821	3,833	3,823	3,821	3,778	3,795	3,803	3,813
доляБрДет	0,279	0,279	0,279	0,278	0,277	0,276	0,277	0,278
срВрПодгДет	48,559	48,440	48,563	48,460	48,573	48,157	48,457	48,352
Δ доляГотДет	$\Delta_1 = 0,721 - 0,724 = 0,003$							
Δ срВрПодгДет	$\Delta_2 = 48,563 - 48,157 = 0,406$							

Модель функционирования предприятия позволяет исследовать влияние качества поступающих блоков (сборочных единиц) на увеличение стоимости изделий. Разница в определении коэффициента увеличения стоимости собираемых из блоков изделий составляет $\Delta_3 = 0,004$ (табл. 2).

Таблица 2

Показатели функционирования предприятия

Показатели	Системы моделирования							
	GPSS World				AnyLogic			
	Начальные числа генераторов случайных чисел							
	27	339	7456	82874	27	339	7456	82874
Время работы 40 ч (2400 ед. модельного времени)								
Количество готовых изделий	121,884	122,140	121,439	122,242	122,068	122,337	121,288	121,867
	$\Delta_1 = 0,803$							
Стоимость готовых изделий	74569	74743	74332	74798	74946	75,151	74487	74831
Минимальная стоимость изделий	70936	71085	70677	71144	71043	71200	70589	70926

Показатели	Системы моделирования							
	GPSS World				AnyLogic			
	Начальные числа генераторов случайных чисел							
	27	339	7456	82874	27	339	7456	82874
	$\Delta_2 = 611$							
Стоимость забракованных блоков	3106	3099	3091	3099	3080	3122	3067	3086
Коэффициент увеличения стоимости изделий	1,095	1,095	1,095	1,095	1,098	1,099	1,099	1,099
	$\Delta_3 = 0,004$							
Время изготовления изделия, мин	19,691	19,650	19,763	19,633	19,661	19,618	19,787	19,694
Коэффициент использования ПК1	0,316	0,316	0,315	0,316	0,318	0,316	0,313	0,315
Коэффициент использования ПК2	0,727	0,731	0,726	0,728	0,724	0,728	0,731	0,730
Коэффициент использования ПК3	0,703	0,700	0,700	0,705	0,697	0,699	0,699	0,701
Коэффициент использования ПК4	0,470	0,473	0,472	0,471	0,473	0,474	0,470	0,471
Коэффициент использования ПС	0,584	0,583	0,578	0,583	0,581	0,586	0,578	0,584
Коэффициент использования СВК	0,543	0,547	0,544	0,548	0,543	0,548	0,543	0,545
Коэффициент использования ПП	0,535	0,540	0,538	0,542	0,540	0,539	0,537	0,538

Примечание: ПК1...ПК4 – пункты контроля блоков 1...4 соответственно; ПС – пункты сборки изделий; СВК – стенды выходного контроля изделий; ПП – пункт приёмки изделий.

Модель предоставления ремонтных услуг построена с целью определения состава, загрузки подразделений фирмы и вероятности выполнения заявок на ремонт в зависимости от интенсивности их поступления и времени выполнения. Из табл. 3 следует, что разница в определении вероятности выполнения всех заявок составляет $\Delta_5 = 0,001...0,002$.

Таблица 3

Показатели фирмы предоставления ремонтных услуг

Показатели	Системы моделирования			
	GPSS World		AnyLogic	
	Начальные числа генераторов случайных чисел			
	892	6547	892	6547
Среднее время поступления заявок 20 мин				
Выполнено заявок типа 1	37,356	37,879	37,333	37,428
$\Delta_1 = 0,023...0,451$				
Выполнено ремонтов: вида 11	18,664	19,021	18,488	18,705
вида 12	9,277	9,461	9,423	9,354
вида 13	9,415	9,397	9,462	9,369
Выполнено заявок типа 2	56,633	56,297	56,641	56,330
$\Delta_2 = 0,008...0,033$				
Выполнено ремонтов: вида 21	28,273	28,195	28,115	28,378
вида 22	14,118	13,900	14,264	13,914
вида 23	13,942	14,202	14,262	14,038
Выполнено заявок типа 3	47,305	47,075	47,050	46,946
$\Delta_3 = 0,129...0,255$				
Выполнено ремонтов: вида 31	23,808	23,570	23,469	23,414
вида 32	11,851	11,831	11,792	11,788
вида 33	11,646	11,674	11,789	11,744
Выполнено заявок типа 4	47,160	46,857	47,099	47,486
$\Delta_4 = 0,242...0,326$				
Выполнено ремонтов: вида 41	23,504	23,443	23,852	23,552
вида 42	11,962	11,811	11,702	12,050
вида 43	11,694	11,603	11,545	11,884
Вероятность выполнения всех заявок	0,651	0,654	0,653	0,655
$\Delta_5 = 0,001...0,002$				
Коэффициенты использования:				
мастеров 1	0,829	0,832	0,834	0,838
мастеров 2	0,859	0,865	0,868	0,868
мастеров 3	0,655	0,659	0,669	0,668
мастеров 4	0,633	0,637	0,655	0,662
$\Delta_6 = 0,005...0,025$				
Коэффициент использования диспетчеров	1,000	1,000	1,000	1,000

Модель функционирования сети связи предназначена для определения коэффициента пропускной способности сети и среднего времени передачи одного сообщения в зависимости от интенсивности поступления сообщений и характеристик сети. Разница в определении коэффициента пропускной способности сети составляет $\Delta_1 = 0,00025$ (табл. 4).

Таблица 4

Показатели функционирования сети связи

Показатели	Системы моделирования							
	GPSS World				AnyLogic			
	Начальные числа генераторов случайных чисел							
	639747	137698	469383	547821	27498	113837	937256	8629543
Время функционирования 1 ч (3600 с)								
Коэффициент пропускной способности сети связи	0,815	0,816	0,816	0,816	0,816	0,815	0,815	0,816
	$\Delta_1 = 0,81575 - 0,8155 = 0,00025$							
Среднее время передачи одного сообщения	6,129	6,129	6,128	6,129	6,045	6,063	6,051	6,061
	$\Delta_2 = 6,12875 - 6,045 = 0,08375$							
Коэффициент загрузки вычислительного комплекса 1	0,255	0,255	0,255	0,255	0,255	0,256	0,255	0,255
Коэффициент загрузки вычислительного комплекса 2	0,170	0,170	0,170	0,170	0,169	0,17	0,17	0,170
Средний коэффициент загрузки основных каналов	0,0425	0,0425	0,0425	0,0423	0,0423	0,0423	0,0422	0,0426
Среднее количество отправленных сообщений	600,112	599,622	600,251	599,647	599,925	599,077	599,754	600,384
Среднее количество полученных сообщений	489,203	489,277	489,732	489,062	489,455	488,545	489,061	489,973

Вывод. Показатели функционирования цеха, предприятия, сети связи, фирмы предоставления ремонтных услуг, полученные в GPSS World и AnyLogic, отличаются несущественно. Это позволяет сделать вывод об адекватности GPSS World и AnyLogic относительно результатов моделирования дискретно-событийных процессов.

Литература

1. Скаткова Н. А., Воронин Д. Ю., Ткаченко К. С. Дискриминационный анализ систем имитационного моделирования с использованием версионно-модельной избыточности // Радиоэлектронные компьютерные системы. 2010. № 7 (48).
2. Боев В. Д. Об адекватности систем имитационного моделирования GPSS World и AnyLogic. Часть 1 // Прикладная информатика. 2010. № 6 (30). С. 69–82.
3. Боев В. Д. Об адекватности систем имитационного моделирования GPSS World и AnyLogic. Часть 2 // Прикладная информатика. 2011. № 4 (34). С. 20–30.
4. Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование: Курс лекций. ИНТУИТ, 2010.
5. Боев В. Д., Кирик Д. И., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование: Пособие по курсовому и дипломному проектированию. www.xjtek.ru, 2011.
6. Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: Учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
7. Девятков В. В. Мир имитационного моделирования: взгляд из России // Прикладная информатика. 2011. № 4 (34). С. 9–29.
8. Экс Джей Текнолоджис www.xjtek.ru.