

УДК 004.94

Сравнение «прогонов» имитационной модели участка механической обработки в среде AnyLogic

Борисов Сергей Андреевич

borisov123467@yandex.ru

SPIN-код: 3493-8290

Малышев Евгений Николаевич

malen@bmstu.ru

SPIN-код: 3167-1190

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрено создание тандема имитационной модели и эксперимента сравнения «прогонов», репрезентирующих функционирование участка механической обработки. Приведены роли элементов диаграммы процессов. Описаны предшествующие сопоставлению действия, связанные с параметрами, наборами данных и элементами управления. Представлены фрагменты простого эксперимента, сравнение «прогонов» и отклики. Произведен анализ результатов. Сделан вывод о зависимости заработной платы и численностей заготовок и деталей от времени между прибытиями заготовок, продолжительностей обработки и вероятности принятия детали в качестве годной на этапе контроля.

Ключевые слова: производственный процесс, участок механической обработки, имитационное моделирование, эксперимент, AnyLogic

AnyLogic делает возможным конструирование систем, способных работать с неявной статистикой, сводящих к минимуму трудоемкий расчет, замещающих дорогостоящую реализацию, позволяющих использовать несвойственные реальным машинам значения. Фундируемая разнообразными сочетаниями имитационных подходов первичная многослойность инструмента AnyLogic критически расширяется надстроечным комплексом численных экспериментов. Простой эксперимент преимущественно визуализирует деятельность, не предоставляя возможности достаточно оперативно и эргономично получать множество выходных показателей. Сравнение «прогонов» оформляет элементы управления параметрами и строит репрезентативные графики с обновлением легенд, отстраняясь от вывода лишней информации. Симуляция поведения производственных структур есть востребованная составляющая планирования, прогнозирования, регулирования многосторонних связей.

Участок механической обработки — совокупность 13 единиц технологического оборудования. Заготовки (отливки) привозятся транспортерами после отжига. Деталь-представитель проходит 8 операций обработки, проверяется в отделе технического контроля и покидает помещение.

Наглядное представление привносит дополнительные свойства, оказывающие влияние на глубину и реалистичность. На полотно интерфейса наносятся *Стены* (оконтуренная площадь пола со сквозной дорогой), *Стеллаж*

(временное пребывание заготовок до передачи краном), *Точечные Узлы* (закрепление обрабатывающих центров), *Стреловые Краны* (перемещение заготовок и деталей), *Прямоугольные Узлы* (стоянка транспортеров и место генерации заготовок снаружи, промежуточные склады и место уничтожения деталей внутри), *Пути* (сеть движения вилочных погрузчиков) и *Мостовой Кран* (однонаправленное транспортирование объектов производства между разделенными дорогой областями). Внедряются 3D-паллеты и потенциально приводимые в действие работники-операторы, верстаки, конвейеры, тары для стружки и т. д.

Диаграммы, состоящие из блоков библиотек, объединяют компоненты разметки. Заготовка-деталь, вилочный погрузчик и единица оборудования вводятся корреспондирующими *Типами Агентов*. *ResourcePool* содержит в себе множество *Агентов*, *Source* генерирует заготовки [1]. *RackStore* передает заготовки в *Стеллаж* с использованием транспортеров-ресурсов, *Delay* задерживает заготовки в складах. *SelectOutput* и *SelectOutput5* проверяют условия для распределения заготовок по рабочим местам, *MoveByCrane* перемещает заготовки и детали с захватом крана. *Service* «обрабатывает» заготовки [2]. *RestrictedAreaStart* и *RestrictedAreaEnd* лимитируют количество заготовок и деталей, одновременно находящихся в ветвях операций.

Динамическое изменение значений обеспечивается элементами управления. Имена привнесенных на данном этапе *Параметров* указываются в полях блоков (время между прибытиями *Source*, время задержки *Service*, вероятность выхода *true SelectOutput*). Для времен обработки типом управления назначаются, например *Бегунки*, для вероятности оценки и времени между генерациями — *Текстовые Поля*. Именно они самостоятельно добавляются в будущее сравнение «прогонов». Следующими связываются с вышеупомянутыми *Параметрами* нововведенные *Бегунки*, отображаемые только в окне агента Main (простой эксперимент).

Столбиковая Диаграмма (коллекционер значений “Source.count()” и т. п.) демонстрирует количественные сведения о заготовках, годных деталях и браке [3]. *Временной График* подходит для отслеживания сдельной заработной платы. Для хранения и передачи ему чисел используются *Переменные* (Integer), действия типа “Variable += S” (S — выплата за одну деталь) в строках «При выходе» блоков *Service* и наименования *Переменных* в разделе «Данные» *Временного Графика*. Интенция на сравнение «прогонов» удовлетворяется применением *Наборов Данных* со схожими ссылками. Начальные и конечные фрагменты проекта представлены на рис. 1.

Основной недостаток простого эксперимента — многократное воспроизведение. Подобное преодолевается сравнением «прогонов»: после отбора в окне-мастере параметров и диаграмм с типом «набор данных» и значениями “root.DataSet” в появившейся вкладке автоматически формируются *Временные Графики*, *Текстовые Поля* и *Бегунки* [4]. Некоторое их сочетание приводится на рис. 2. Решения зафиксированы в таблице.

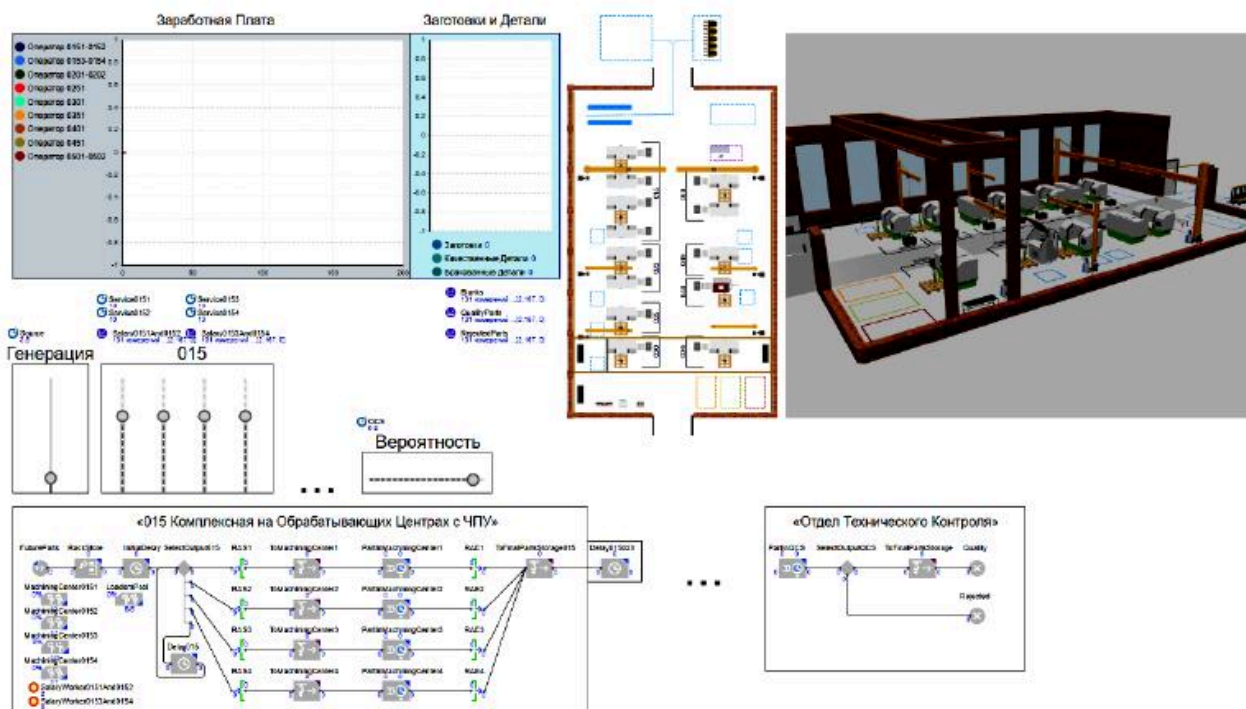


Рис. 1. Фрагменты модели в простом эксперименте

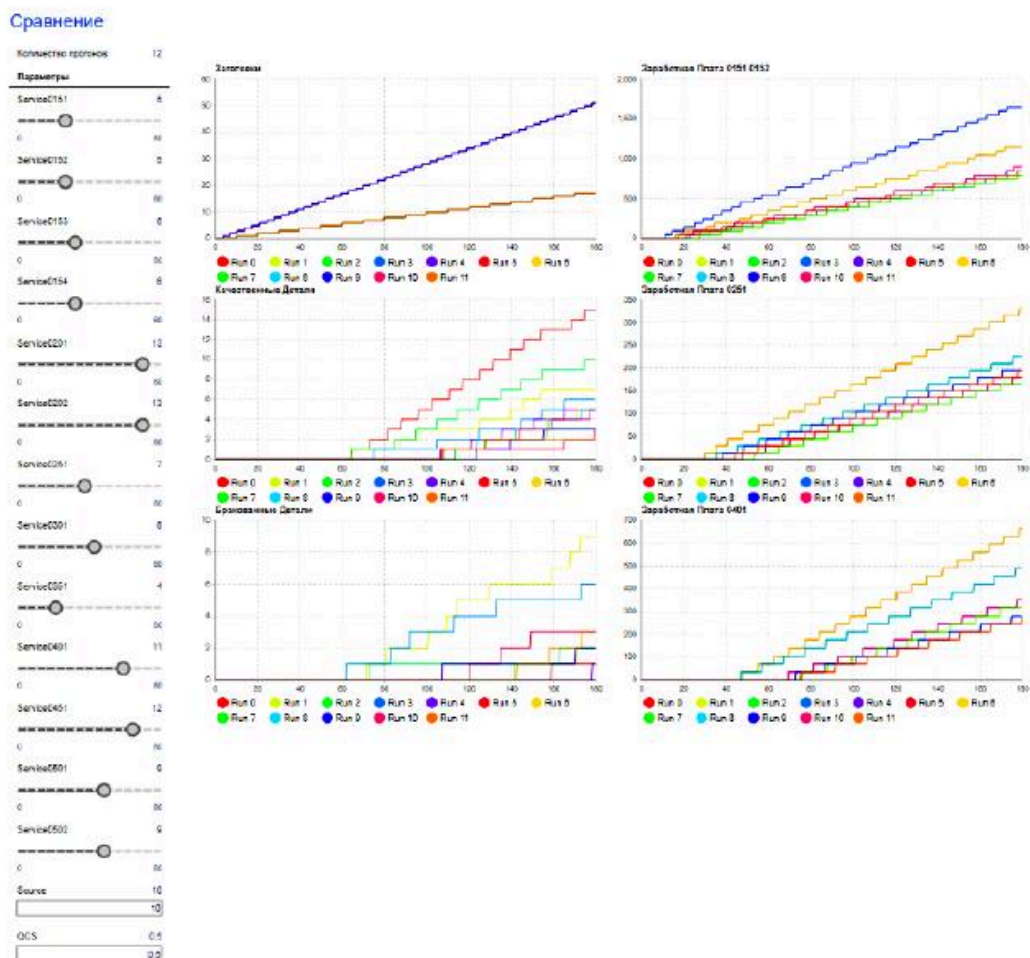


Рис. 2. Сравнение «прогонов» модели участка механической обработки

Результаты эксперимента

t	P	H	$З$	ЗП 0151-0152	ЗП 0153-0154	ЗП 0201-0202	ЗП 0251	ЗП 0301	ЗП 0351	ЗП 0401	ЗП 0451	ЗП 0501-0502	КД	БД
3,5	0,9	А	51	1150	900	1330	330	240	190	665	900	425	15	1
3,5	0,5		51	1150	900	1330	330	240	190	665	900	425	7	9
10	0,9		17	800	0	525	225	180	140	490	650	325	10	2
10	0,5		17	800	0	525	225	180	140	490	650	325	6	6
3,5	0,9	Б	51	900	850	665	180	132	100	350	350	150	5	1
3,5	0,5		51	900	850	665	180	132	100	350	350	150	3	3
10	0,9		17	800	0	490	165	132	100	315	350	150	5	0
10	0,5		17	800	0	490	165	132	100	315	350	150	3	2
3,5	0,9	В	51	1650	500	630	195	144	110	280	300	125	5	0
3,5	0,5		51	1650	500	630	195	144	110	280	300	125	3	2
10	0,9		17	850	0	525	195	132	100	280	300	125	5	0
10	0,5		17	850	0	525	195	132	100	280	300	125	2	3

Обозначения: t — время между генерациями заготовок; P — вероятность оценки детали в качестве годной; H — набор значений времен обработки (классический А: 10, 10, 10, 10, 4, 4, 2, 1, 2, 1, 1, 5, 5; Б: 15, 15, 14, 14, 11, 11, 8, 1, 9, 2, 11, 13, 13; В: 5, 5, 6, 6, 13, 13, 7, 8, 4, 11, 12, 9, 9); $З$ — количество заготовок; ЗП — заработная плата; КД — количество качественных деталей; БД — количество бракованных деталей. Продолжительность 180 мин

При увеличении t на 185,7 % $З$ уменьшается на 66,6 %, ЗП уменьшается в среднем на 45,6 % (А), 31,9 % (Б) и 36,2 % (В). При $t = 10$ мин и наборе А ЗП 0153–0154 равняется 0, так как заготовки, своевременно обрабатываемые в группе 0151–0152, не переходят к 0153–0154. Допускается вывод последней по причине ненужности. Иной выход — равномерное распределение крапом. Сходные отклики получены для Б и В с соответствующим t . Таким образом, увеличение времени между генерациями заготовок отрицательно сказывается на средней заработной плате.

При уменьшении P на 44,4 % среднее КД уменьшается на 48 % (А), 40 % (Б) и 50 % (В). КД+БД в смежных строках с одинаковым t равны. Следовательно, уменьшение вероятности оценки детали в качестве годной приводит к уменьшению среднего количества качественных деталей и увеличению среднего количества бракованных деталей.

$t = 3,5$ мин, $P = 0,9$: при увеличении среднего времени обработки на 110,7 % средняя ЗП уменьшается на 40 %, КД+БД уменьшается на 62,5 % (А–Б); при уменьшении среднего времени обработки на 21,1 % средняя ЗП увеличивается на 6,9 %, КД+БД уменьшается на 16,6 % (Б–В).

$t = 10$ мин, $P = 0,9$: при увеличении среднего времени обработки на 110,7 % средняя ЗП уменьшается на 24,9 %, КД+БД уменьшается на 58,3 % (А–Б); при уменьшении среднего времени обработки на 21,1 % средняя ЗП увеличивается на 0,1 %, КД+БД не изменяется (Б–В). Изменение среднего времени обработки вызывает неоднозначные результаты как в стро-

ках, так и в столбцах. Необходимо принимать во внимание узкие места, начисление части ЗП в момент выхода детали из станка и взаимодействие времени обработки с t .

Модель непротиворечива в первом приближении. Дальнейшие изыскания в «локусах» и имплементация диаграммы Ганта гарантируют более полное представление о скрытых процессах.

Литература

- [1] Лимановская О.В., Алферьева Т.И. *Моделирование производственных процессов в AnyLogic 8.1: Лабораторный практикум*. URL: https://www.anylogic.ru/upload/Books_ru/modelirovanie-proizvodstvennyh-processov-v-anylogic-8.1.pdf (дата обращения 15.02.2025).
- [2] Лимановская О.В. *Имитационное моделирование в AnyLogic 7. Часть 1*. URL: https://www.anylogic.ru/upload/Books_ru/imitacionnoe-modelirovanie-v-anylogic-7-chast-1.pdf (дата обращения 15.02.2025).
- [3] Куприяшкин А.Г. *Основы моделирования систем*. URL: https://www.anylogic.ru/upload/pdf/osnovi_modelirovania_sistem.pdf (дата обращения 15.02.2025).
- [4] Григорьев И. *AnyLogic за 3 дня: практическое пособие по имитационному моделированию*. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials/> (дата обращения 15.02.2025).

Compare runs experiment of machining department simulation model in AnyLogic environment

Borisov Sergey Andreevich

borisov123467@yandex.ru
SPIN-code: 3493-8290

Malyshev Evgeniy Nikolaevich

malen@bmstu.ru
SPIN-code: 3167-1190

Kaluga Branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The creation of simulation model and compare runs experiment tandem representing the functioning of a machining department is considered. The roles of process flowchart elements are given. The pre-comparison actions related to parameters, data sets and controls are characterized. The fragments of a simple experiment, the runs comparison and responses are presented. The results are analyzed. The conclusion is drawn about the dependence of wage rates and the numbers of blanks and parts on blank interarrival time, processing times and probability of taking part as good-quality at the control stage.

Keywords: *manufacturing activity, machining department, simulation modelling, experiment, AnyLogic*