

УДК 004.942

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Д.П. Лащенков

Воронежский государственный технический университет
Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 14
E-mail: nord_vrn@mail.ru

В.Л. Бурковский

Воронежский государственный технический университет
Россия, 394026, Воронеж, Московский проспект, 14
E-mail: bvl@vorstu.ru

Ключевые слова: имитационное моделирование, математическая модель, интегрированная производственная система, технологический процесс, оптимизация, система массового обслуживания, инструментальная среда AnyLogic

Аннотация: Данная работа посвящена имитационному моделированию гибких производственных систем на основе применения аппарата теории массового обслуживания. При этом важной особенностью здесь является гибкость структуры производственной системы, ее нестационарная топология, возможность изменения количества используемых технологических объектов и перестроения технологических маршрутов в условиях изменяющихся плановых задач по выпуску продукции. При этом возникает задача построения оптимальной структуры гибкой производственной системы, отвечающей заданным критериям с учетом внутренних и внешних ограничений. Ввиду чрезвычайной сложности математического моделирования производственной системы аналитическим путем для решения данной задачи наиболее целесообразным является имитационное моделирование, в том числе с применением инструментальной среды AnyLogic.

1. Введение

Современная концепция «бережливого производства» предполагает переход от массового производства, рассчитанного на стабильный выпуск узкой номенклатуры продукции, к развитию адаптивных/реконфигурируемых производственных систем, с высоким уровнем приспособляемости (гибкости структуры и компоновки) к изменяющемуся рыночному спросу, позволяющих изготавливать широкую гамму сложной технической продукции с постоянно обновляемым модельным рядом [1]. Данная тенденция вызывает необходимость создания производственных систем с реконфигурируемой структурой, позволяющей оперативно изменять параметры и режимы работы технологического оборудования, перестраивать технологические маршруты изготовления продукции, с целью достижения максимально выгодных экономических показателей производства.

Гибкие производственные системы имеют достаточно сложную структурную иерархию и характеризуются множеством динамических процессов, протекающих в них в процессе функционирования, во время которых задействуются различного рода ресур-

сы. В каждый определенный момент времени состояние производственной системы описывается целым набором переменных, параметров, как внешних, так и внутренних, причем зачастую значения этих параметров имеют динамический или стохастический характер.

При разработке и эксплуатации таких систем одной из важнейших составляющих является имитационное моделирование, позволяющее производить объективный анализ функционирования системы, прогнозирование развития ситуации в будущем и поиск методов оптимизации производственных процессов. При этом наиболее целесообразной является реализация имитационных моделей гибких производственных систем на основе методов теории массового обслуживания. Ниже рассматривается функциональная схема комплексной имитационной модели гибкой производственной системы. Далее в данной работе приведен пример практической реализации имитационной модели в условиях работы металлообрабатывающего цеха с применением инструментальной среды AnyLogic.

2. Комплексная имитационная модель гибкой производственной системы

Рассмотрим имитационную модель дискретных технологических объектов гибких производственных систем с нестационарной топологией, обеспечивающей адаптацию структуры в соответствии с изменениями в составе технологического оборудования и связях между элементами технологического процесса. Функциональная схема данной модели представлена на рис. 1. Имитационная модель основана на представлении производственной системы как многоканальной многофазной системы массового обслуживания (СМО). Фазам СМО здесь соответствуют технологические операции, каналам обслуживания – технологические объекты, обеспечивающие выполнение каждой операции производственного процесса.

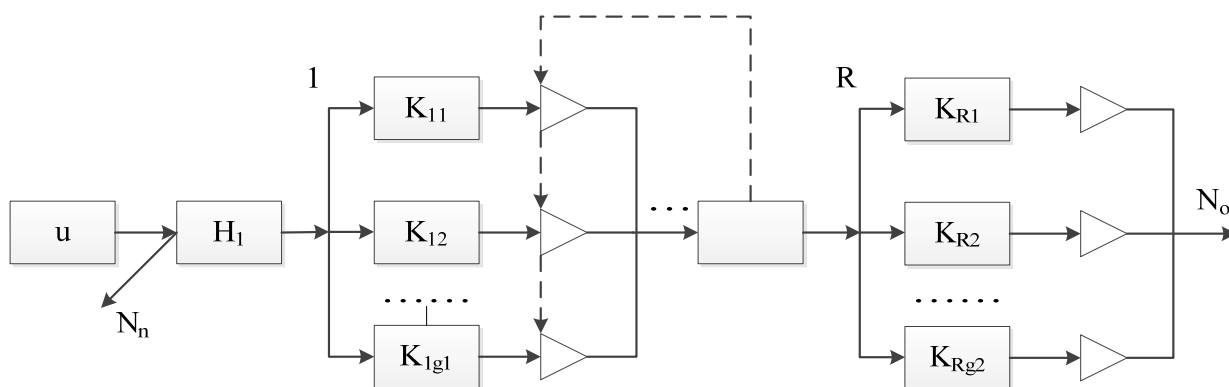


Рис. 1. Функциональная схема комплексной имитационной модели гибкой производственной системы.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: u – источник заявок (требований на обслуживание); H_i – накопитель i -й фазы ($i=1,2,\dots,R$); R – количество фаз; K_{ij} – j -й канал i -й фазы ($j=1,2,\dots,g_i$); g_i – количество каналов в i -й фазе; N_n – число отказов в обслуживании заявок (количество потерянных требований); N_o – число обслуженных заявок.

В рассматриваемой модели поток заявок на обслуживание соответствует потоку деталей, заготовок, изделий, последовательно проходящих определенный технологиче-

ский маршрут в составе производственной системы. Сплошными линиями на рис. 1 обозначены потоки заявок на обслуживание, пунктирными линиями показаны обратные связи, в результате действия которых возникает блокировка канала. Накопители H_i соответствуют складам заготовок перед выполнением определенной операции. Переполнение накопителя вызывает блокировку канала предыдущей фазы, и для всех фаз, кроме первой, заявка теряется. В результате выполнения всех технологических операций на выходе образуется поток обслуженных заявок (готовые изделия) и поток потерянных заявок. Реконфигурация модели под изменяющиеся условия и требования к производственной системе обеспечивается варьированием следующих параметров: количество фаз обслуживания (R), число каналов в каждой фазе ($g_i, i=1,2,\dots,R$), закон распределения времени обслуживания заявок, интенсивность обслуживания ($\lambda_{ij}, j = 1,2,\dots,g_i$), объём накопителей каждой фазы ($L_i, i=1,2,\dots,R$), число реализаций актов обслуживания [2].

3. Практическая реализация имитационной модели

Рассмотрим практическую реализацию имитационной модели на примере модели гибкого автоматизированного металлообрабатывающего цеха, разработанной в инструментальной среде AnyLogic (рис. 2). Гибкий автоматизированный цех включает в себя автоматизированную транспортно-складскую систему (АТСС), состоящую из склада поступающих заготовок и складов-накопителей перед группами обрабатывающих станков и конвейера, осуществляющего транспортировку деталей между складами и обрабатывающими центрами; гибкие производственные участки, сгруппированные по типам операций обработки: фрезерная, токарная, сверлильная, шлифовальная и т.д.; роботы-упаковщики, выполняющие упаковку деталей в межоперационную тару. Данный цех получил заказ на изготовление трех видов деталей, каждая из которых имеет свой технологический маршрут. Соответственно, структура модели включает в себя 3 подсистемы обслуживания, каждая из которых содержит источник заявок (заготовок деталей) zag_1, zag_2, zag_3 ; склады заготовок $st_zag_1, st_zag_2, st_zag_3$; блоки упаковки/распаковки межоперационных партий деталей $batch/unbatch, batch1/unbatch1, batch2/unbatch2, \dots, batch10/unbatch10$; конвейеры $conveyor, conveyor1, conveyor2, \dots, conveyor 10$; блоки обслуживания, сгруппированные по виду операций обработки: фрезерная $frez_1, frez_2, frez_3$; токарная $tokar_1, tokar_2, tokar_3$; шлифовальная $shlif_1, shlif_2, shlif_3$; сверлильная $sverl_2, sverl_3$; потоки обслуженных заявок (готовых деталей) det_1, det_2, det_3 и потоки потерянных заявок $p_st_zag_1, p_st_zag_2, p_st_zag_3, p_frez_1, p_frez_2, p_frez_3, p_tokar_1, p_tokar_2, p_tokar_3, p_shlif_1, p_shlif_2, p_shlif_3, p_sverl_2, p_sverl_3$. Состав технологического оборудования, задействованный в производственном процессе, задан блоками "Resource Pool": $frez_stanok$ – фрезерные станки, $tokar_stanok$ – токарные станки, $shlif_stanok$ – шлифовальные станки, $sverl_stanok$ – сверлильные станки. Количество станков в каждой группе задается параметрами $k_frez, k_tokar, k_shlif, k_sverl$. Для выполнения операции по обработке одной детали необходима загрузка одного станка соответствующей группы, время обработки задается в параметрах блока согласно нормативной трудоемкости. Количество деталей в межоперационных партиях для каждого из трех потоков задается параметрами $n1, n2, n3$. Количество готовых деталей каждого типа, выпущенных за модельное время, записывается в переменные $kol_det_1, kol_det_2, kol_det_3$. Суммарное количество всех потерянных в системе заявок фиксируется переменной $poteri$.

Для анализа работы модели использованы блоки статистики, определяющие минимальные, максимальные и средние значения параметров функционирования системы:

загруженность технологического оборудования *frez_stanok_util*, *tokar_stanok_util*, *shlif_stanok_util*, *sverl_stanok_util*; количество заявок в накопителях *st_zag_1_size*, *st_zag_2_size*, *st_zag_3_size*, *frez_1_size*, *frez_2_size*, *frez_3_size*, *tokar_1_size*, *tokar_2_size*, *tokar_3_size*, *shlif_1_size*, *shlif_2_size*, *shlif_3_size*, *sverl_2_size*, *sverl_3_size*.

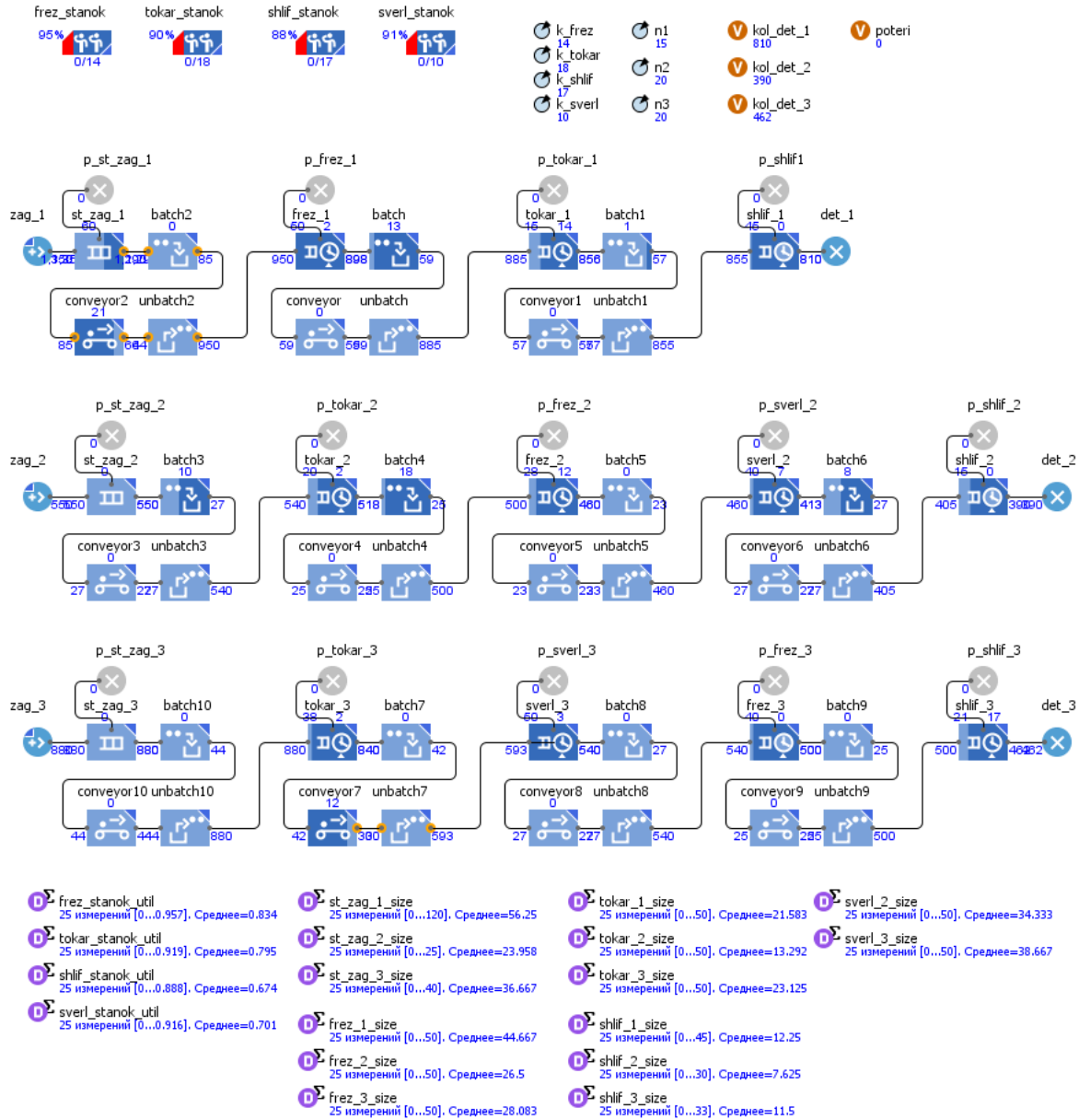


Рис. 2. Имитационная модель гибкого автоматизированного цеха.

Интенсивность потока заявок для деталей 1-го типа составляет 50 шт./ч, 2-го типа – 25 шт./ч, 3-го типа – 40 шт./ч. Максимальные емкости складов поступающих заготовок: *st_zag_1* – 300 шт., *st_zag_2* – 200 шт., *st_zag_3* – 300 шт.; емкости складов перед станками – 50 шт. Режим работы цеха – круглосуточный, без перерывов и выходных. Для анализа и оптимизации модели выбрано модельное время работы – 24 ч.

Для решения задачи по выбору оптимальных параметров производственной системы создан эксперимент «Оптимизация». Целевой функцией в нем выбрано суммарное количество задействованных станков, которое необходимо минимизировать:

$$k_frez + k_tokar + k_shlif + k_sverl \rightarrow \min$$

В качестве варьируемых параметров выбраны: количество станков каждой группы k_frez , k_tokar , k_shlif , k_sverl от 5 до 20 с шагом 1; количество деталей в межоперационных партиях $n1$, $n2$, $n3$ от 5 до 25 с шагом 5.

В качестве требований заданы следующие ограничения: количество готовых деталей $kol_det_1 \geq 800$, $kol_det_2 \geq 300$, $kol_det_1 \geq 500$; количество потерянных заявок $poteri = 0$.

Таким образом, составлена задача по нахождению минимального необходимого количества станков каждой группы и оптимального объема межоперационных партий деталей для выполнения заданного объема готовых изделий при отсутствии переполнения накопителей заготовок и, как следствие, отсутствии потерь заявок.

В ходе оптимизационного эксперимента было проведено 500 итераций, оптимальные значения параметров получены на 327-й итерации и составляют: $k_frez = 14$, $k_tokar = 18$, $k_shlif = 17$, $k_sverl = 10$, $n1 = 15$, $n2 = 20$, $n3 = 20$. Запуск модели с полученными значениями параметров подтвердил правильность проведенной оптимизации: заданные объемы по выпуску продукции выполняются при отсутствии переполнения накопителей каналов обслуживания, при этом статистика коэффициентов загрузки станков по каждой группе (в среднем 0,7-0,8) свидетельствует о достаточной эффективности и рациональности их использования.

4. Заключение

Современная рыночная конъюнктура диктует принципиально новые требования к организации промышленного производства. Громоздкое и расточительное промышленное производство товаров массового потребления стремительно вытесняется новой концепцией поточного изготовления продукции под заказ, получившей название «бережливого производства». Она позволяет сплотить усилия всех работников предприятия, от высших руководителей до операторов автоматических линий и поставщиков комплектующих, соединить их в единое интегрированное целое – гибкую производственную систему, способную своевременно и адекватно реагировать на рыночный спрос, а также многократно увеличить производительность труда и объемы выпуска товаров на имеющихся производственных площадях, повысить их качество, снизить энергоемкость и стоимость изготовления. Имитационное моделирование является незаменимым инструментом при организации и управлении гибкими производственными системами, позволяющим проводить объективный и оперативный анализ функционирования технологических объектов, определять наличие «узких» мест и оптимизировать работу системы путем ее параметрической реструктуризации. Приведенные в данной работе результаты исследований подтверждают высокую эффективность использования имитационной модели, построенной на основе методов теории массового обслуживания в инструментальной среде AnyLogic. Проведенный оптимизационный эксперимент позволил определить оптимальные параметры системы, обеспечивающие минимизацию целевой функции и выполнение всех заданных требований и ограничений.

Список литературы

1. Мизюн В.А. Интеллектуальное управление производственными системами и процессами: принципы организации и инструменты. Тольятти: СНИЦ РАН, 2012. 214 с.

2. Лашенов Д.П., Бурковский В.Л. Имитационное моделирование технологических объектов интегрированных производственных систем // Современные технологии в науке и образовании. 2017. Том 1.