

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ ЦЕХОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

М.В. Жаров (ФГБОУВО «МАИ»)

Исследуются возможности применения технологии имитационного моделирования производственной среды с помощью программного комплекса AnyLogic на предприятиях приборостроительных и машиностроительных производств для оптимизации производства, при реконструкции и реорганизации цехов, при создании новых цехов и участков в условиях серийного производства.

Ключевые слова: имитационное моделирование, организация производственного процесса, серийное производство, цех механической обработки, последовательность обработки, технологическая схема, оптимизация производственных процессов.

Введение

Производственный процесс изготовления детали представляет собой сложную систему, состоящую из множества отдельных элементов, связей, отношений, взаимозависимых объектов. Кроме того, влияние на производственный процесс оказывают и отношения, возникающие в процессе производственной деятельности. К ним относятся отношения между производственными участками, участками и складскими службами, производственными участками и транспортной системой цеха. При проектировании реального производственного процесса помимо разработки технологических операций важно также рассматривать организационные и логистические мероприятия, от которых в определенной степени зависит производительность производства и, как следствие, экономическая эффективность процесса. Важными с точки зрения экономической эффективности производства являются вопросы загрузки производственного оборудования, рационального размещения оборудования, участков и производств, минимизации времени на транспортировку полуфабрикатов по участкам, на которых осуществляются операции технологического процесса, оптимальное число изделий в очереди на ожидание обработки, минимальное время ожидания на обработку по операциям технологического процесса, временные оценки полного производственного цикла, оптимальная величина партий деталей, заделов деталей и комплектующих, вместимость складских помещений и т.д. Определение наилучших параметров производственного процесса с целью повышения эффективности производства довольно актуальна при разработке планов реорганизации цехов машиностроения, при создании новых производств, при модернизации технологического оборудования, при расширении номенклатуры выпускаемой продукции, при наращивании объемов

производства. Отдельно отметим актуальность рационального решения поставленных задач для производств с быстро меняющимся ассортиментом продукции, выпуском продукции небольшими партиями или сериями.

В настоящее время в связи развитием компьютерной техники и информационных технологий наиболее востребованным инструментом для оптимизации производства становится имитационное моделирование [1]. Имитационное моделирование представляет собой процесс замены какого-либо явления, процесса или объекта его математической моделью, причем все дальнейшие операции в рамках имитационного моделирования производятся именно с математической моделью. По своей сути имитационное моделирование представляет собой метод исследования объекта, явления или процесса, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе [2].

Преимущества от использования имитационного моделирования

Имитационное моделирование предоставляет пользователю целый ряд важных преимуществ:

— используя имитационное моделирование можно рассматривать поведение исследуемой производственной системы в различные промежутки времени (день, месяц, год), что позволяет оценить не только текущее поведение системы, но и перспективы ее развития в дальнейшем;

— известно, что стоимость устранения реальных ошибок всегда выше, чем виртуальных. Система моделирования производственных процессов направлена на сокращение рисков и затрат финансовых ресурсов за счет имитационной проверки особенностей

производственных процессов, превентивного выявления "узких" мест и проблем в производстве, направлена на исследование эффективности использования оборудования и производственных площадей [3];

- имитационное моделирование позволяет рассматривать огромное число вариантов поведения производства в условиях изменяющихся внешних и внутренних факторов. Это позволит выявлять, какие факторы являются определяющими в поведении исследуемой производственной системы;

- посредством технологии имитационного моделирования можно экспериментировать над различными производственными и организационными проектами, не используя материальные ресурсы для их реализации;

- проведение экспериментов с использованием модели избавляет от необходимости проведения экспериментов в реальной жизни и не мешает работе производства.

Таким образом, имитационно моделирование помогает сэкономить временные и финансовые ресурсы, затрачиваемые на подготовку реального производства. Кроме того, ценность принятых решений в производственной сфере возрастает с уменьшением временных затрат на принятие этих решений. Поэтому имитационное моделирование является эффективным инструментом для решения широкого круга производственных задач [4].

В настоящее время на отечественном рынке прикладных программных продуктов представлено большое число систем имитационного моделирования производственных процессов. Определенный интерес вызывает отечественная система имитационного моделирования производственных процессов AnyLogic. Данная система ничем не уступает зарубежным аналогам, решая те же самые вопросы. В частности, по утверждению производителя, система позволяет моделировать процессы и решать проблемы в области следующих производственных и логистических направлений:

- планирование производства;
- проектирование производственных помещений и планирование производительности;
- совершенствование процессов, анализ слабых мест;
- оптимизация производственного цикла;
- оптимизация ресурсов: персонала и оборудования;
- планирование запасов (незавершенное производство и сырье).

Программная среда известна и активно используется российскими предприятиями, в том числе предприятиями машиностроительного и металлургического профиля, такими как Новолипецкий металлургический комбинат, Мечел, Русал, Северсталь, Объединенная металлургическая компания, Норильский никель, Ульяновский завод промышленной аппаратуры и т. д.

Применительно к металлургическому производству известно, что при помощи AnyLogic была создана имитационная модель электросталеплавильного цеха АО "Челябинский металлургический комбинат", входящего в группу предприятий компании "Мечел". Разработанный проект имитационной модели производства стал первым для АО "Челябинский металлургический комбинат", и одним из первых в металлургической отрасли РФ.

1. Разработанная имитационная модель представляла собой Java-приложение, точно и наглядно воспроизводящее полноценную работу рассматриваемого электросталеплавильного цеха на протяжении различных временных периодов. В модели предоставлена возможность моделирования и анализа работы электросталеплавильного цеха в пределах временного интервала от 12 часов до одного календарного года. Модель учитывает планируемую инфраструктуру цеха, конфигурацию оборудования и все значимые параметры происходящих в цеху процессов. Выработанные в ходе эксперимента с моделью данные представлены в отчетах о производстве стали, простоях агрегатов, анализе коэффициента загрузки оборудования, трудоемкости выполнения процессов и т. д. (<https://www.anylogic.ru/resources/>).

Постановка задачи и проведение имитационного моделирования цеха механической обработки конкретного производственного предприятия

Поставлена задача оптимизации работы цеха механической обработки конкретного производственного предприятия. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи: получить сведения о площади производственных и подсобных помещений цеха; получить данные о числе участков и имеющемся в цехе оборудовании, на основании которых определить фактически необходимую площадь и выявить нерационально используемые площади; провести анализ загруженности каждого вида оборудования; получить численные данные производительности цеха за рабочую смену, а также время изготовления партий деталей с различными маршрутными картами, с помощью моделирования в программной среде AnyLogic; на основании данных экспериментов составить план-проект реорганизации, включающий корректирование расстановки оборудования, корректирование и улучшение условий труда на рабочем месте, регулирование сроков обработки деталей, оценку обязанностей отдельных работников, внедрение системы оперативной системы транспортировки заготовок и деталей.

Для реализации поставленной задачи был выполнен комплекс работ, который условно можно разбить на основные отдельные этапы, которые будут рассмотрены далее.

Этап 1. Создание имитационной модели

В рамках данного этапа была подготовлена планировка реального цеха в графической системе AutoCad.

Планировка выполнялась в масштабе с учетом реальной расстановки действующего оборудования и расстояний материальных потоков. Рассматриваемый цех имел площадь 3964 м², рассчитан примерно на 100 единиц производственного оборудования и предусматривал функционирование следующих участков: заготовительного, токарного, прессового, слесарного, фрезерного, сварочного и участка автоматов. Помимо рабочих участков в плане цеха предусмотрены складские и вспомогательные помещения. Также в графической системе AutoCad создавалась визуальная модель движения полуфабрикатов по схеме технологического процесса, которая представляет собой путь перемещения от одной производственной единицы оборудования к другой с указанием мест обработки изделий на каждой конкретной технологической операции. Важно, что в данном случае указывается не только очередность прохождения участков согласно технологической схеме производства, но и идет привязка к конкретной единице оборудования, указываются места хранения производственных запасов перед каждой операцией, определяется очередность хранения изделий на обработку перед операциями технологического процесса.

Совмещенная схема плана цеха и структуры системы обработки может использоваться для наглядности перемещения партий полуфабрикатов в процессе имитационного моделирования технологии производства заданных изделий.

Для реализации имитационного моделирования создаются схемы технологических процессов изготовления типовых деталей или так называемых деталей-представителей. Схемы технологических процессов изготовления деталей-представителей в подавляющем большинстве случаев создаются с помощью библиотек Enterprise Library встроенных в систему AnyLogic.

Этап 2. Моделирование производственного процесса

На данном этапе необходимо ввести время обработки детали на каждой операции (включая подготовительное время), которое берут из маршрутной карты и которое соответствует штучно-калькуляционной норме выполнения технологической операции на конкретном оборудовании, вводят особенности транспортировки, размер партий полуфабрикатов, вес полуфабрикатов, геометрические параметры полуфабрикатов.

Перед запуском имитационного моделирования необходимо указать существенные параметры условий эксперимента моделирования, установив следующие показатели:

- модельное время — минуты;
- время остановки модели не задано;
- подача заявок — произвольная.

Выполнение имитационного моделирования показало, что поведение модели совпадает с реальным процессом работы цеха. На модели визуально отображается движение полуфабрикатов по территории цеха. Модельное время совпадает с заданными. Для ускорения наблюдения можно увеличивать скорость

Мысленно человек может только воспроизвести сложную информацию. Движение, или течение, или изменение перспектив важнее, чем статическое изображение, каким бы красивым оно не было.

Алан Перлис

течения времени в заданном диапазоне. Во время всех операций внизу экрана отображается модельное время. При наблюдении за модельным временем можно проследить временные интервалы между этапами обработки заготовки. В качестве результата моделирования работы цеха до оптимизации получены численные данные по оценке временных интервалов обработки изделий на операциях технологического процесса и времени движения заготовок (полуфабрикатов) внутри цеха. Для определения закономерностей логистических потоков в цехе было проведено порядка 10 вариантов моделирования процесса. В результате моделирования выявлены определенные проблемы, подтверждающиеся реальными особенностями протекания технологических процессов:

— определена несинхронность работы оборудования, на определенном этапе в очереди на обработку скапливались недопустимо большие запасы полуфабрикатов;

— выявлено недопустимо большие потери времени на транспортировку партии изделий между операциями технологического процесса, которые определяются небольшой величиной партий деталей;

— коэффициент загрузки ряда единиц производственного оборудования ниже рекомендуемых значений;

— выявлена возможность переноса ряд работ на аналогичное оборудование, что высвобождает несколько единиц оборудования для осуществления обработки других видов изделий.

Таким образом, на основе проведенного имитационно моделирования были выявлены все логистические и организационные проблемы при производстве всего ассортимента изделий, производимых цехом.

Этап 3. Оптимизация производственного процесса

Производственная оптимизация связана с выбором структуры технологического процесса, то есть с выбором оптимальных проектных решений при назначении вида заготовки, маршрутов обработки детали и состава технологических операций с учетом установленных производственных ограничений — сменности работы, программы выпуска, состава оборудования и технологической оснастки. Производственная оптимизация технологических процессов механической обработки связана с решением задачи структурной оптимизации для заданной номенклатуры деталей. Другими словами, эту задачу можно сформулировать следующим образом: для заданной номенклатуры деталей определяется состав оборудования и организация производства, при использовании которых обеспечивается максимальная эффективность обработки.

Для повышения экономического эффекта от производства изделий проводилось моделирование с целью получения лучших вариантов организации технологического процесса. При этом формировалась следующая постановка задачи оптимизационного эксперимента.

На участок цеха подаются детали с интервалом времени, который соответствует экспоненциальному закону распределения с интенсивностью $\lambda=1$.

Обработка деталей выполняется с интенсивностью μ , которая задаётся согласно штучно-калькуляционным нормам обработки детали по типовому технологическому процессу и, также, учитывает штучное время, заданное на перемещение заготовок между этапами обработки. Полагается, что на участке работает N станков, численное значение N изменяется для каждого участка согласно планировке цеха в интервале 1...15 ед.

Оптимизационный эксперимент системы имитационного моделирования программы AnyLogic по определению рационального числа оборудования по участкам технологического процесса отображается в виде диалогового окна системы, в котором справа отражен процесс оптимизации в виде графической зависимости суммарного времени на выполнение всего технологического цикла производства изделия в зависимости от варианта моделирования. Слева в диалоговом окне отображается вариант итерации и требуемое минимальное количество оборудования на каждой операции технологического процесса.

Проведение оптимизационного эксперимента позволяет вычислить необходимое число станков на участках исследуемого цеха. В ходе решения оптимизационной задачи проведено 500 вариантов моделирования, которые показали, что для осуществления типового технологического процесса достаточно 15 единиц оборудования, вместо установленных 20. Таким образом, потребное число парка оборудования возможно сократить на 25%, даже если оставшееся оборудование будет той же мощности и производительности — оно будет иметь больший коэффициент загрузки [5].

Проведенное моделирование системы функционирования цеха механической обработки позволяет получить структуру рациональной и оптимальной организации производства, что позволит в будущем не только снизить расходы цеха, но и увеличить его производительность, рационально использовать площади цеха, повысить коэффициент загрузки оборудования.

Продемонстрированы перспективы применения имитационного моделирования в программе AnyLogic, позволяющие не только выявлять недостатки действующего производственного процессов с точки зрения производственной логистики, но и решить целый ряд производственных задач. Моделирование позволило оценить: загруженность станков, среднюю продолжительность пребывания деталей в производственном процессе, среднее число деталей в очереди, прибыль и убытки при реализации производственного процесса. Таким образом, имитационное моделирование в среде AnyLogic может быть привлечено предприятиями машиностроительной отрасли, в том числе предприятиями приборостроения, для решения производственных задач в области оптимизации производственных процессов.

Экспериментирование с имитационной моделью позволит значительно снизить издержки на этапе различных производственных преобразований и реконструкций, а также точно определить производственные мощности нового производства при различных условиях: при установке нового оборудования, изменении серийности и объемов партий, при уменьшении или увеличении числа производственного оборудования, что крайне актуально для современных предприятий машиностроения с быстро сменяемым ассортиментом выпускаемой продукции.

Список литературы

1. Борщев А.В. Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2015): М.: Изд-во ИПУ РАН, 2015. С. 14-22.
2. Кудряшова Э.Е. Визуальное моделирование при разработке бизнес-плана // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2008. № 8 (46). С. 104-108.
3. Ревина И. В., Бояркин Г. Н. Имитационное моделирование производственного процесса изготовления деталей // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 230-234.
4. Nyemba W.R. Modelling, simulation and optimization of the materials flow of a multi-product assembling plan // Procedia Manufacturing. 2017. Vol. 8. P. 59-66.
5. Васимова И.Н., Садковская Н.Е., Садковский Б.П., Жаров М.В. Оптимизация производственных процессов с помощью моделирования в программной среде AnyLogic на предприятиях авиационной и ракетно-космической отрасли // Научные технологии. 2018. № 6. с. 18-24.

Жаров Максим Владимирович — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет)
E-mail: MaximZharov@mail.ru

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**

• сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

Адрес редакции: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (495) 334-91-30, (926)212-60-97. E-mail: info@avtprom.ru