

# Имитационное моделирование в *Tecnomatix Plant Simulation 11* в учебном процессе

О.Н. Калачев, А.Н. Синяева (Ярославский государственный технический университет)

## Введение

Развитие учебного процесса на кафедре “Компьютерно-интегрированная технология машиностроения”, готовящей специалистов по проектированию технологии изготовления деталей, предполагает компьютерный анализ спроектированного технологического процесса. Существует бесплатная версия приложения *Tecnomatix* для студентов, основанного на PLM-платформе *Teamcenter* компании *Siemens*, которое предлагает наиболее универсальный набор решений для технологической подготовки производства.

*Plant Simulation*, один из продуктов линейки *Tecnomatix*, представляет собой инструмент дискретного имитационного моделирования, который позволяет создавать цифровые модели логических систем (например, производства) для определения характеристик и оптимизации этих систем по производительности [1].

Целью моделирования является наглядное представление хода технологического процесса и последующее вычисление средней производительности линии, потребности в промежуточных накопителях, их емкости и влияния соотношения различных модификаций продукции на среднегодовую производительность. Такие параметры, как время работы, вместимость объекта, алгоритм работы накопителей, размеры партий продукта и многие другие, можно менять с помощью диалогового интерфейса.

Покажем принцип работы в системе *Tecnomatix Plant Simulation 11*, используя исходные данные технологического процесса (ТП) изготовления детали “Корпус ротора с втулками”.

Методика работы в системе предполагает пять этапов:

- 1 проектирование производственного участка;
- 2 создание модели;
- 3 проведение имитационного моделирования и анализ результатов;
- 4 оптимизация;
- 5 визуализация.

## 1. Проектирование производственного участка для изготовления детали “Корпус ротора с втулками”

На этом этапе систематизируется конструкторская документация, изучается чертеж детали, предлагается планировка участка с операционными эскизами обрабатываемой заготовки, технологический маршрут.

Базовый технологический процесс механической обработки корпуса ротора с втулками состоит из десяти операций. Для каждой операции рассчитывается штучное время  $T_{шт}$ , коэффициент загрузки оборудования  $\eta_{з.ф.}$ , принятое число рабочих мест  $P$ . Исходные данные представлены в табл. 1.

Табл. 1. Исходные данные базового ТП изготовления детали “Корпус ротора с втулками”

Операция	$T_{шт}$ , мин	$P$	$\eta_{з.ф.}$
Токарная	2	1	0.7
Токарно-револьверная	1	1	0.36
Агрегатная	5	2	0.8
Круглошлифовальная	0.5	1	0.2
Алмазно-расточная	5	2	0.8
Агрегатная	4	2	0.73
Резьбонарезная	2	1	0.72
Слесарная	0.3	1	–
Промывка	0.3	1	–
Контроль приемочный	0.5	1	–

На рис. 1 изображена расстановка оборудования и эскизы детали на каждом этапе обработки.

Для увеличения количества готовых изделий добавим на участок накопители и установим дисплей, который будет считать количество готовых деталей и выводить это число на экран.

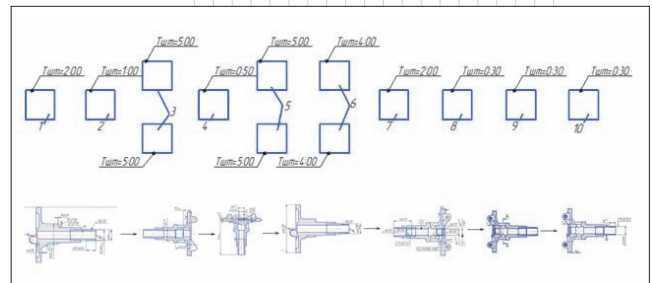


Рис. 1. Планировка участка с эскизами детали: 1 – токарно-многолезцовый полуавтомат 1Н713; 2 – токарно-револьверный 1К341; 3 – агрегатный 3ХА-7531; 4 – круглошлифовальный станок 3А151; 5 – алмазно-расточной “SAS” 2ADAR; 6 – агрегатно-сверлильный ХА-13673; 7 – вертикально-сверлильный 2А125; 8 – верстак; 9 – моечная машина; 10 – стол контрольный

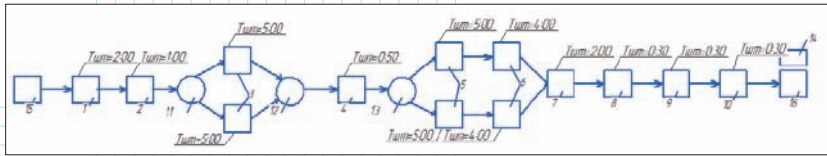


Рис. 2. Планировка участка после изменений:

1 – токарно-многолезцовый полуавтомат 1Н713; 2 – токарно-револьверный 1К341; 3 – агрегатный 3ХА-7531; 4 – круглошлифовальный станок 3А151; 5 – алмазно-расточной “SAS” 2АDAR; 6 – агрегатно-сверлильный ХА-13673; 7 – вертикально-сверлильный 2А125; 8 – верстак; 9 – моечная машина; 10 – стол контрольный; 11,12,13 – накопители; 14 – дисплей; 15 – отдел загрузки заготовок; 16 – отдел отгрузки готовых деталей

Планировка участка после изменения представлена на рис. 2.

## 2. Построение модели реализации базовой производственной системы

Модель производственной системы (ПС) строится на основе абстрактных стандартных объектов, либо объектов специализированных библиотек. Каждый объект обладает настраиваемым поведением и параметрами. Объекты, представляющие ресурсы, соединяются между собой коннекторами, определяющими направление материалопотока. Результат построения имитационной модели представлен на рис. 3. Все процессы в цифровой модели протекают так же, как и в реальной системе. Возможностей настройки объектов хватает для решения типовых задач без написания программного кода.

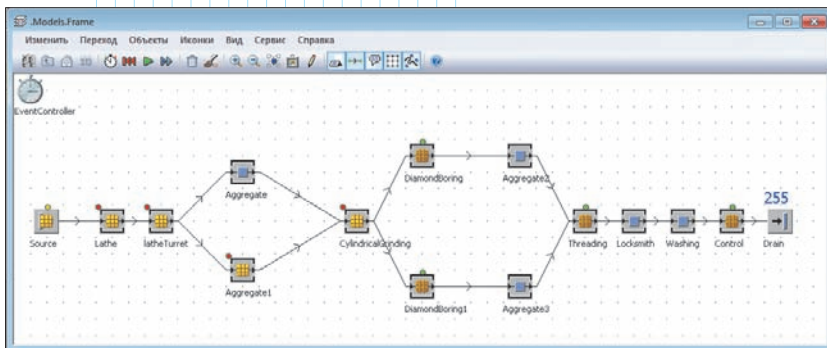


Рис. 3. Результат построения имитационной модели

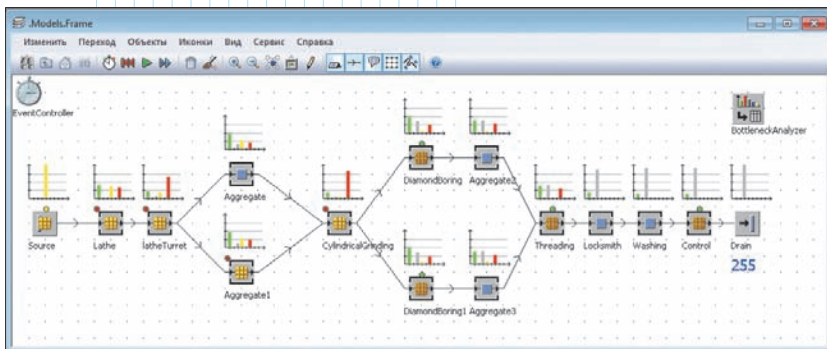


Рис. 4. Анализ узких мест

В более сложных случаях, когда алгоритм работы системы нетривиален, требуется написание процедур, осуществляющих обработку различных событий – таких, как приход/ уход детали с поста, возникновение сбоя в оборудовании или запуск переналадки.

Созданные цифровые модели позволяют проводить эксперименты и прорабатывать сценарии “что если” без вмешательства в работу существующих производственных систем или (при использовании в процессе планирования) задолго до внедрения реальных систем.

## 3. Анализ сформированной модели ПС

Модель необходимо не только построить, но и выполнить качественный и количественный анализ работы объекта. Для этого можно воспользоваться предоставляемыми аналитическими инструментами. Каждый объект в модели автоматически осуществляет сбор статистики работы, произведенный объектом: время работы, количество и типы обслуженных объектов, поломки и другое. Для визуализации этих значений применяется инструмент “Анализатор узких мест”, позволяющий автоматически собрать статистику и найти наиболее/наименее загруженные участки. Посредством внедрения накопительного участка можно увеличить производительность с наименьшими затратами на производстве. Применение инструмента показано на рис. 4.

## 4. Оптимизация модели производственной системы

Целесообразно поставить накопители в местах разветвления потока движения деталей, где и наблюдаются узкие места. Затем проводится анализ накопителей, чтобы проверить отсутствие ненужных объектов. Из графика на рис. 5 видно, что *Buffer1* используется не совсем продуктивно, но если избавиться от него, то производительность существенно изменится. Целесообразно оставить буфер наименьшей вместимости, как показано на рис. 6.

*Plant Simulation* позволяет не только моделировать и воспроизводить производственные системы и их технологические процессы. Предоставляется возможность оптимизации материалопотоков, использования ресурсов и логистики на всех уровнях планирования производства – от глобальных

производственных объектов до региональных заводов и отдельных производственных линий.

Один из методов оптимизации – это проведение симуляции модели при различных исходных данных. Инструмент “Менеджер экспериментов” позволяет автоматизировать этот процесс. Достаточно задать диапазоны изменения параметров – и автоматически будет выполнено моделирование их заданных комбинаций, а по результатам будет сформирован HTML-отчет, включающий также статистические оценки, если в модели присутствуют случайные факторы.

Результат применения “Менеджера экспериментов” представлен на рис. 7.

Оптимизация часто требует больших затрат машинного времени. При большом количестве итераций время может стать ограничивающим фактором – например, при оперативном планировании на смену *Plant Simulation* позволяет решать эту проблему. Предложенный инструмент оптимизации поддерживает автоматическое управление параллельными вычислениями на нескольких компьютерах. Альтернативой является ускорение работы алгоритмов модели. Для этого *Plant Simulation* имеет встроенный профайлер, позволяющий проанализировать затраты машинного времени по элементам модели и найти места, требующие оптимизации работы.

С помощью инструмента *Experiment Manager* устанавливается размер накопителя, что способствует определению оптимальных размеров производственного участка. Благодаря этому, не придется тратиться на лишние объемы помещения, и в то же время производительность операции не пострадает из-за малого размера накопителя.

Еще одной возможностью анализа и оптимизации ТП является автоматическое построение диаграмм Сэнки по результатам работы за определенное время (рис. 8) и поиск участков с наиболее интенсивным материалопотоком.

Встраивание транспортирующей системы позволяет предусмотреть оптимальный способ передачи заготовок между станками (рис. 9)



Рис. 5. График заполнения буферов

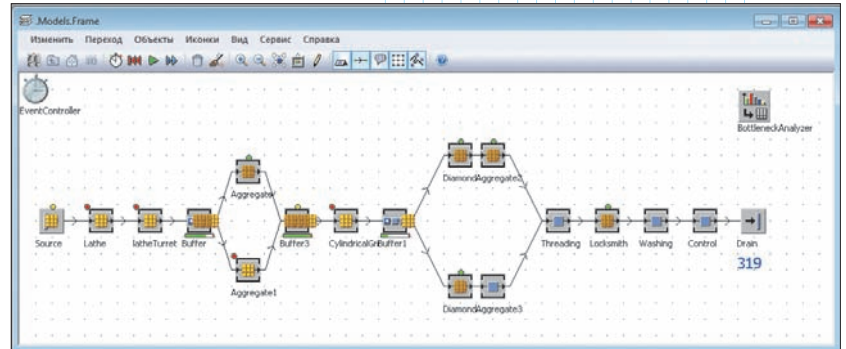


Рис. 6. Имитационная модель

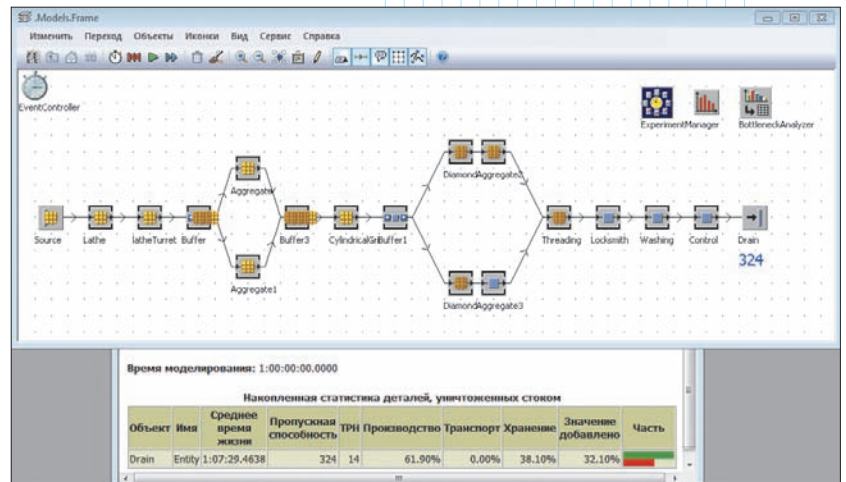


Рис. 7. Итоговая имитационная модель после оптимизации

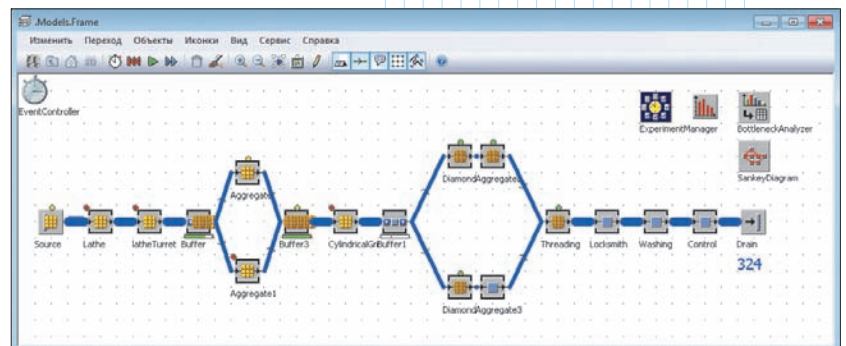


Рис. 8. Диаграмма Сэнки

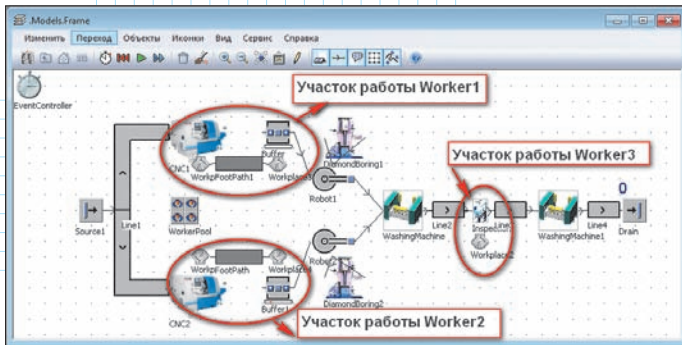


Рис. 9. Пример добавления в ПС системы транспортировки заготовок

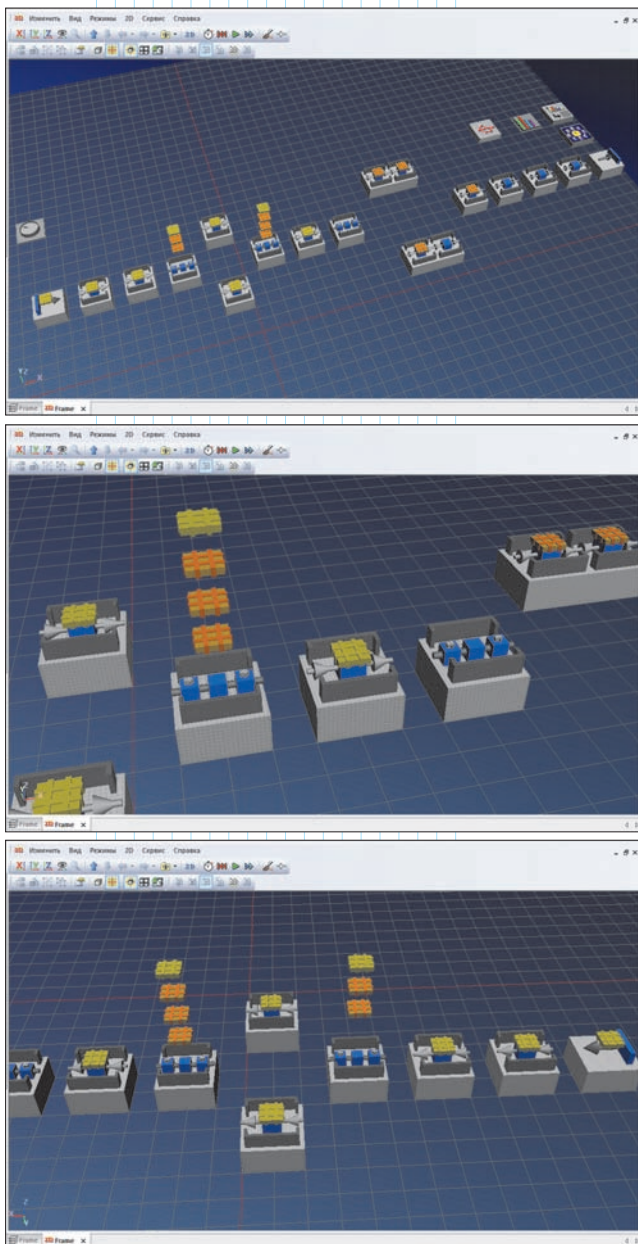


Рис. 10. Визуальное представление модели ПС в 3D

Полученная в результате информация является необходимым фактором для быстрого принятия верных решений на ранних стадиях планирования производства.

## 5. Визуальное представление модели в 3D

Визуализация – мощный инструмент моделирования производственного участка. Она важна не только при представлении результатов проекта, но и в ходе работы над моделью, так как позволяет наглядно оценить работу, выявить ошибки в модели и проблемные места.

Основным типом визуализации в системе *Plant Simulation* является двумерная модель с анимацией на основе иконок – изменение состояния объектов отражается меняющимися иконками. Этот подход удобен для решения инженерных задач, так как обеспечивает наглядность, не требуя дополнительных затрат времени. При необходимости симуляция может быть существенно (на порядок) ускорена путем отключения анимации перемещения и/или изменения состояния объектов [2].

Дополнительной возможностью является трехмерная визуализация; при этом работа и перемещение трехмерных объектов управляется событиями, генерируемыми двумерной моделью. Выполнение 3D-симуляции требует дополнительной работы по формированию геометрии и траекторий перемещения, однако это дает большую наглядность представления результатов. Пример 3D-модели действующей производственной системы представлен на рис. 10.

## Заключение

В реальном машиностроительном производстве преимущества имитационного моделирования в среде *Tecnomatix Plant Simulation* неоспоримы и очевидны. Если же говорить об учебном процессе, то каждому студенту предоставляется возможность на этапе подготовки выпускной квалификационной работы по-новому взглянуть на свою работу: проанализировать и свести в единую модель все технические решения, сделанные традиционно порознь, оценить качество проектирования производственной системы. 🧐

### Литература

1. Официальный сайт компании *Siemens PLM Software* // [www.plm.automation.siemens.com/ru\\_ru](http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru)
2. *Virtual Desktop* // [www.deskeng.com/virtual-desktop/?p=6021](http://www.deskeng.com/virtual-desktop/?p=6021)

### Авторы:

**Калачев О.Н.** – доцент кафедры “Компьютерно-интегрированная технология машиностроения” Ярославского государственного технического университета;  
**Синяева А.Н.** – магистрант той же кафедры.