

и моделирования операций сборки на стапеле, и источником описания корабля для решения чисто эксплуатационных задач (обучение персонала и задач обслуживания) для выбора оптимальных конструкторско-технологических решений. Это – технологии будущего, которые уже сейчас начинают использоваться передовыми проектными организациями и судостроительными предприятиями.

**Список литературы:**

- [1] Судостроительная 3D CAD/CAM-система NUPAS-CAD/MATIC продолжает приятно удивлять своих пользователей новейшими решениями. Интернет: <http://www.korabel.ru/news>.  
[2] Журнал САПР и графика «САПР в судостроении». Интернет: <http://www.sapr.ru>.

**О.А. Паутова**  
ОАО «Гидромаш»  
**Е.Г. Бурмистров**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

## **ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ВЕРФИ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОЙ СХЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Рассматриваются процедуры построения дискретно-событийных имитационных моделей производственных систем верфи, организации и подготовки производства.

Как правило, имитационное моделирование производственных систем (ПС) основано на прямом описании моделируемого объекта. Существенной характеристикой таких моделей является структурное подобие объекта и модели.

Процесс, протекающий в модели в ходе эксперимента, подобен процессу в реальном объекте. При этом процесс функционирования системы во времени отождествляется с последовательностью событий, возникающих в системе в соответствии с закономерностями её функционирования. Для формального представления информационной системы при имитационном моделировании обычно используется схема с дискретными событиями. В формальное понятие «событие» при этом вкладывается конкретное смысловое содержание, определяемое целями моделирования.

Ценным качеством имитации является возможность управлять масштабом времени. Динамический процесс в имитационной модели протекает в так называемом системном времени. Пересчёт системного времени в модели можно выполнять двумя способами. Первый заключается в «движении» по времени с некоторым постоянным шагом  $\Delta t$ , второй – в «движении» по времени от события к событию. Считается, что в промежутках времени между событиями в модели изменений не происходит.

Для построения имитационной модели ПС необходимо определить события, при которых может изменяться состояние системы, а затем воспроизводятся с помощью упорядоченной во времени последовательности событий, в каждом из которых, согласно логической процедуре, моделируются изменения состояния системы.

Состояние ПС в дискретно-событийной модели определяется значениями переменных и атрибутов компонентов, принадлежащих различным классам. Начальное состояние ПС устанавливается с помощью задания начальных значений переменных модели, генерации (при необходимости) начальных компонентов системы, а также с помощью начального планирования событий в модели. В ходе имитации система «движется» от состояния к состоянию по мере того, как компоненты участвуют в дей-

ствиях, изменяющих её состояние. При дискретно-событийной имитации изменения состояния системы могут происходить только в начале либо в конце действия.

На рис. 1 показана связь между понятиями «действие» и «событие». Внутри события время не изменяется, а изменения состояния системы происходят только в моменты наступления событий. Поведение ПС имитируется последовательностью изменений её состояния, происходящих по мере наступления событий. Когда происходит событие, состояние системы может быть изменено четырьмя способами: 1) изменением значений одной или нескольких переменных модели; 2) изменением количества компонентов в системе; 3) изменением значений одного или нескольких атрибутов одного компонента; 4) изменением взаимосвязей между компонентами с помощью средств оперирования с файлами.

Процесс последовательной разработки имитационной модели производственной системы начинается с создания простой модели, которая затем постепенно усложняется в соответствии с требованиями, предъявляемыми решаемой проблемой. В процессе имитационного моделирования можно выделить следующие основные этапы:

1. Формулирование проблемы: описание исследуемой проблемы и определение целей исследования.
2. Подготовка данных: идентификация, спецификация и сбор данных.
3. Разработка модели: логико-математическое описание моделируемой системы в соответствии с формулировкой проблемы.
4. Трансляция модели: перевод модели на язык, приемлемый для используемой ЭВМ
5. Верификация: установление правильности машинных программ.
6. Валидация: оценка требуемой точности и соответствия имитационной модели реальной системе.
7. Стратегическое и тактическое планирование: определение условий проведения машинного эксперимента с имитационной моделью.
8. Экспериментирование: прогон имитационной модели на ЭВМ для получения требуемой информации.
9. Анализ результатов имитационного эксперимента для подготовки выводов и рекомендаций по решению проблемы.
10. Реализация и документирование: реализация рекомендаций, полученных на основе имитации, и составление документации по модели и ее использованию.



Рис. 1. Связь между понятиями «действие» и «событие»

Первой задачей имитационного исследования является точное определение проблемы и детальная формулировка целей исследования. Затем начинается этап построения модели исследуемой ПС.

Модель должна быть простой для понимания и в то же время достаточно сложной, чтобы реалистично отображать характерные черты реальной ПС. Наиболее важ-

ными являются принимаемые разработчиком решения относительно того, верны ли принятые упрощения и допущения, какие элементы и взаимодействия между ними должны быть включены в модель. Уровень детализации модели зависит от цели её создания. Необходимо рассматривать те элементы, которые имеют существенное значение для решения исследуемой проблемы.

На этапе разработки модели определяются требования к входным данным. Чувствительность получаемых результатов к изменению входных данных может быть оценена путём проведения серии имитационных «прогонов» для различных значений входных параметров.

Следующей задачей является перевод модели в форму, доступную для ЭВМ. Хотя для программирования имитационной модели может использоваться универсальный язык, применение специализированного имитационного языка имеет существенные преимущества. Помимо сокращения времени программирования использование имитационного языка упрощает разработку модели, так как такой язык содержит набор понятий для формализованного описания системы. Имитационное моделирование реализуется программно с использованием различных языков, как универсальных – БЕЙСИК, ПАСКАЛЬ, СИ, так и специализированных для построения имитационных моделей – СИМСКРИПТ, СТАМ/КЛАСС, GPSS, SLAM, Pilgrim.

На этапах верификации и валидации осуществляется оценка функционирования имитационной модели. На этапе верификации, например, определяется, соответствует ли запрограммированная для ЭВМ модель замыслу разработчика. Это обычно осуществляется путём ручной проверки вычислений, кроме того, может быть использован и ряд статистических методов.

Условия проведения машинных «прогонов» модели определяются на этапах стратегического и тактического планирования. Задача стратегического планирования заключается в разработке эффективного плана эксперимента, в результате которого либо выясняется взаимосвязь между управляемыми переменными, либо находится комбинация значений управляемых переменных, минимизирующая или максимизирующая отклик имитационной модели. В тактическом планировании в отличие от стратегического решается вопрос о том, как в рамках плана эксперимента провести каждый имитационный «прогон», чтобы получать наибольшее количество информации из выходных данных.

Следующие этапы в процессе имитационного исследования – проведение машинного эксперимента и анализ результатов – включают «прогон» имитационной модели на компьютере и интерпретацию полученных выходных данных.

Последним этапом являются реализация полученных решений и документирование имитационной модели и процедур её использования.

Описанные этапы имитационного исследования редко выполняются в строго заданной последовательности, начиная с определения проблемы и кончая документированием. В ходе имитационного исследования вероятны сбои в «прогонах» модели, ошибочные допущения, от которых в дальнейшем приходится отказываться, переформулирование целей исследования, повторные оценки и перестройки модели... Такая отладка модели позволяет разработать имитационную модель, которая даёт верную оценку альтернатив и облегчает процесс принятия решения.

Не зависимо от общего количества этапов, создание имитационной модели ПС всегда начинается с разработки алгоритма (блок-схемы) модели. В качестве примера, на рис. 2. представлен разработанный авторами вариант алгоритма построения имитационной модели организации и размещения основного производства верфи в программной среде Plant Simulation.

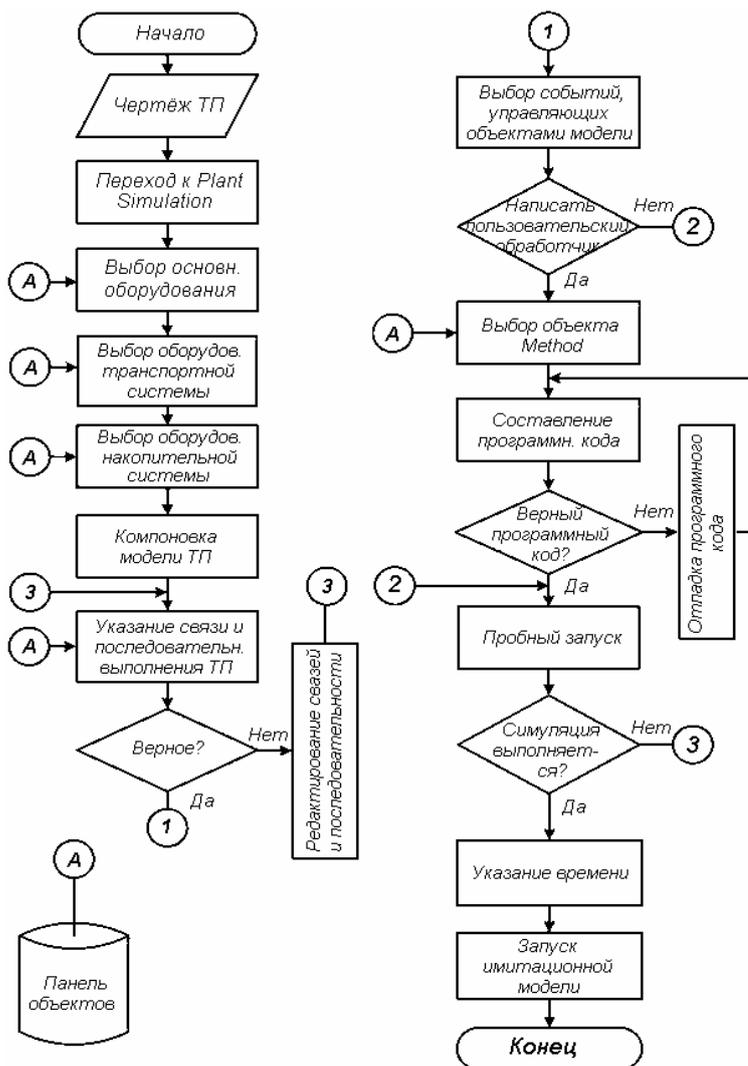


Рис. 2. Алгоритм построения имитационной модели размещения основного производства верфи

Фрагмент разработанной на базе приведённого алгоритма имитационной модели размещения производства по изготовлению деталей корпуса судна на ОАО «Судоремонтно-судостроительная корпорация» (г. Городец) представлен рис. 3.

Результаты имитационного моделирования по данному алгоритму являются динамическими. Это позволяет выполнять моделирование производственных потоков, варьируя его входные и выходные параметры и существующие производственные ограничения. Таким образом, становится возможным оценивать различные сценарии развития конкретных производственных ситуаций и опробовать соответствующие меры реагирования на них. Немаловажным является и тот факт, что результаты моделирования можно визуализировать с помощью программ 3D-поддержки проектов с элементами анимации принимаемых решений.

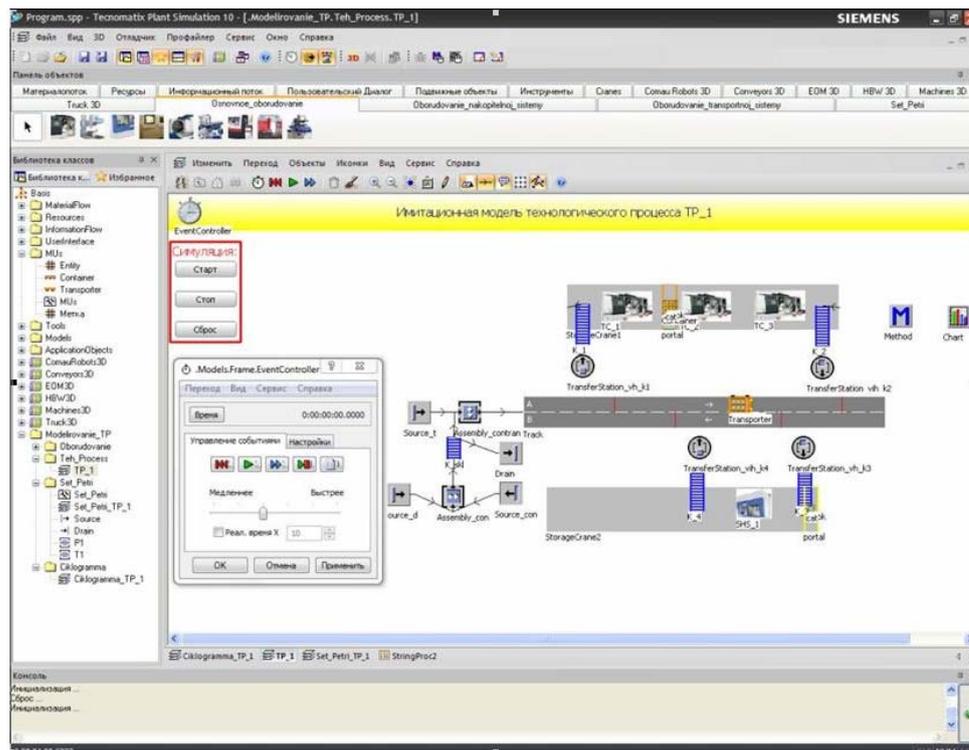


Рис. 3. Фрагмент имитационной модели размещения производства по изготовлению деталей корпуса на ОАО «Судоремонтно-судостроительная корпорация»

#### Список литературы:

- [1] Клейнрок Л. Теория массового обслуживания/ Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
- [2] Прицкер А. Введение в имитационное моделирование/ А. Прицкер. – М.: Мир, 1987. – 644с.
- [3] Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
- [4] Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS / Т. Дж. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1979. – 287 с.

**Е.П. Роннов, В.В. Анисимова**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

### ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ОБСТАНОВОЧНЫХ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

В статье рассмотрена целесообразность постановки задачи оптимизации обстановочных судов внутреннего плавания. Представлена математическая формулировка данной задачи.

Судоходство на внутренних водных путях связано с необходимостью систематического проведения ряда видов работ по обеспечению гарантированных габаритов судового хода. Для их проведения используются, так называемые, суда технического