

УДК 001.57

В.А. Горбатов, Н.В. Фёдоров, А.О. Аристов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН
НА ОСНОВЕ СКРИПТОВ ТРЁХМЕРНЫХ
ГРАФИЧЕСКИХ РЕДАКТОРОВ**

Рассмотрен подход к проектированию горных машин, обеспечивающий интеграцию и преобразование различных типов моделей горных машин с помощью геометрических моделей в современных САПР и дополнением их скриптами САПР.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, динамические модели, горные машины, сеть Петри, граф переходов.

Семинар № 15

Рассмотрим важную современную проблему — проектирование горных машин с элементами компьютерного моделирования.

Использование компьютерного моделирования реальных промышленных объектов заключается в замещении этих объектов на модели, учитывающие только их значимые параметры. Эффективность исследования таких моделей повышается за счёт использования ЭВМ для их реализации.

Компьютерное моделирование основано на программной реализации различных видов моделей и соответствующих методов моделирования:

- математическое моделирование — моделирование основанное на исследовании математических моделей, т.е. моделей, построенных на математических понятиях.

- физическое моделирование — метод экспериментального исследования, основанный на физическом подобии. Чаще всего этот метод применяется в том случае, когда исследуемое явление имеет исчерпывающее математическое описание.

- имитационное моделирование предполагает исследование модели поведения объекта во времени. Поведение объекта рассматривается на основе его физических и математических моделей. В результате исследования имитационной модели можно будет получить статистические данные об исследуемом объекте.

- геометрическое моделирование — вид моделирования, предполагающий исследование геометрического объекта на ЭВМ. Геометрический объект рассматривается с позиции его структуры хранения (модели хранения) и его отображения на экране ЭВМ (модели визуализации).

Основным преимуществом использования компьютерного моделирования является возможность проведения эксперимента, который в реальности является очень дорогостоящим и сложным. Дополнение такого эксперимента геометрической моделью визуализации делает его ещё более наглядным и приближённым к реальности.

Очевидно, что модели систем, рассматриваемые с течением времени яв-

ляются динамическими. Динамические модели можно также разделить на две большие категории — управляемые и неуправляемые. Неуправляемые модели определяются неизменным набором параметров, на основе которых происходит дальнейшее моделирование работы системы. Набор параметров и свойства неуправляемой системы неизменны в течение времени моделирования. Другой класс динамических моделей систем — управляемые модели. В них некоторые свойства системы (характеризующие свойства отдельных её элементов) могут быть изменены во время моделирования (т.е. этими свойствами можно управлять). Поэтому, моделирование системы с неуправляемыми моделями в некотором роде можно считать автоматическим, а в управляемых моделях — автоматизированным. Управляемые динамические модели представляют значительные удобства для моделирования устройств, управляемых человеком.

Примерами таких систем можно считать горные машины. Горные машины являются достаточно сложными системами, обеспечивающими автоматизацию и механизацию горнодобывающей промышленности. Основными особенностями горных машин (как систем) можно считать достаточно большую сложность их работы, а также высокую стоимость. Названные особенности доказывают целесообразность применения методов моделирования при проектировании горных машин. Моделирование горных машин возможно при рассмотрении их как элементов системы — горного предприятия, а также с позиции конкретных особенностей работы каждой из них.

Рассмотрение машины как ресурса в технологическом процессе позволит оценить характеристики предприятия в целом, путём анализа статистических

данных, полученных в результате моделирования. Такое исследование относится к технологическому процессу в целом.

При рассмотрении работы отдельной машины можно уделить внимание особенностям её работы с различных позиций (с позиции инженера по ремонту машины, с позиции водителя и т.п.). При рассмотрении с таких позиций можно будет анализировать работу персонала горного предприятия.

Все рассмотренные задачи предполагали только анализ горного производства и отдельных его процессов. Но стоит уделить внимание и задачам, связанным с разработкой новых машин, удовлетворяющих заданным требованиям — задачам синтеза. Современные компьютерные технологии позволяют обеспечить автоматизацию конструкторской деятельности, посредством многочисленных средств САПР. Уровень развития этих средств и возможность интеграции моделей горных машин, сделанных в различных САПР, позволяют не только подготовить проектную документацию (в т.ч. чертежи), но и исследовать особенности работы машин с помощью динамических геометрических моделей.

Примером такой интеграции моделей в САПР можно считать системы компании Autodesk Autocad и 3D Studio Max, имеющие общие форматы трёхмерных геометрических моделей.

Однако, динамические модели в процессе эксперимента действуют только по заранее определённым параметрам. В современных САПР существуют специальные расширения для трёхмерных моделей, основанные на механизме написания скриптов. Скрипт представляет собой небольшую программу, позволяющую автоматизировать выполнение каких-либо действий над геометриче-

ской моделью. Скрипты в значительной степени расширяют возможности САПР.

Одним из применений скриптов можно считать организацию динамического управления моделируемой системой, т.е. управление её параметрами уже после запуска процесса моделирования. Примером такого динамического управления можно считать моделирование системы управления горной машиной. По сути, полученная модель будет представлять собой симулятор горной машины, т.е. управляемую модель с позиции водителя машины. Преимуществами такой модели является:

- значительное снижение стоимости экспериментов;
- безопасность экспериментов;
- возможность обучения специалистов управлению горной машиной;

Существует несколько способов организовать симулятор:

- разработать аппаратно-программную миниатюрную модель;
- разработать отдельную программу;
- разработать симулятор на основе скриптов в САПР.

Разработка аппаратно-программной модели является достаточно трудной, дорогой и неэффективной, поскольку создание полноценного симулятора требует больших затрат и сложного проектирования и изготовления. Разработка отдельной программы-симулятора с нуля тоже является достаточно длительным и сложным процессом, требующим оплаты труда программистов. Разработка симулятора на основе скриптов в САПР является значительно более экономичной, поскольку предполагается, что геометрическая

модель машины уже создана средствами рассматриваемой САПР. Таким образом, задача построения симулятора будет сводиться к дополнению геометрической модели скриптами, что значительно проще разработки отдельной программы-симулятора.

Рассмотрим разработку динамической управляемой модели горной машины. Будем рассматривать построение модели средствами САПР Autodesk Gmax, являющейся бесплатной версией Autodesk 3D Studio Max. Возможности Gmax, в данном вопросе, практически не отличаются от возможностей 3D Studio Max. Особо стоит отметить возможность интеграции в Gmax форматов, принятых для проектирования машин и механизмов, например dxf и 3ds. В качестве скриптового языка в Gmax используется MaxScript, который также используется в 3D Studio Max. Кроме того, в Gmax, как и в 3D Studio Max организована визуальная среда программирования, которая позволяет организовать графический интерфейс. Построенный графический интерфейс представляет собой модель панели управления горной машиной (рис. 1). Важное сходство панели управления и её модели в том, что каждое действие машины и её модели

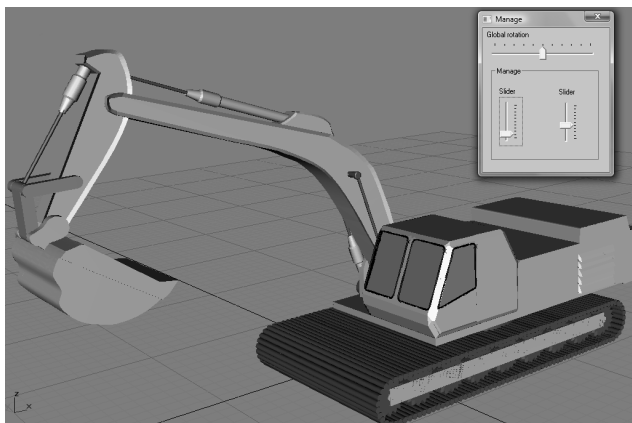


Рис. 1

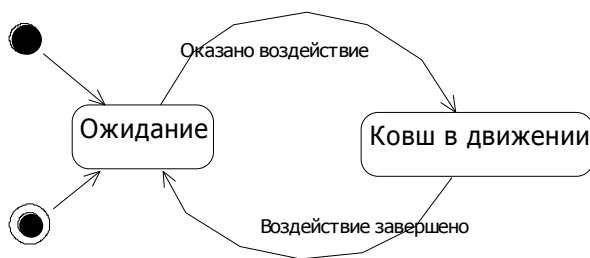


Рис. 2

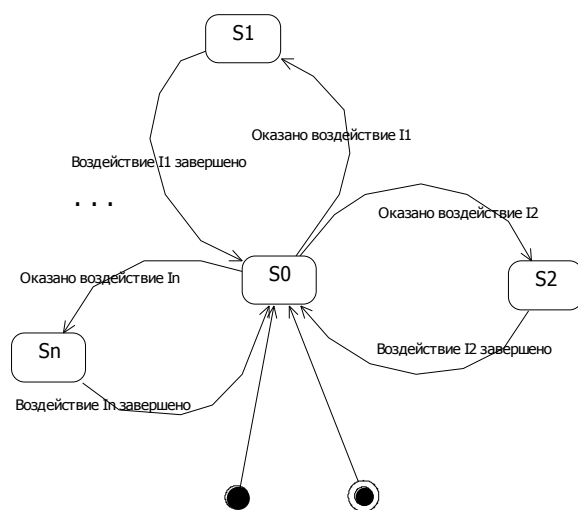


Рис. 3

вызвано соответствующим событием, производимым с элементами управления панели (например, поворот рычага). Поэтому, моделирование горной машины на основе скриптов можно считать дискретным событийным, следовательно для анализа такую модель с имитационными и геометрическими составляющими можно будет преобразовать в дискретные событийные модели (например, сети Петри, конечные автоматы).

Рассматривая моделируемую машину в виде дискретной системы, прежде все-

го определим множество дискретных состояний машины $S = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_n\}$. Поскольку модель машины в простейшем случае предполагает отклик отдельного узла машины на воздействие, инициализируемое с приборной панели. Поэтому, будем считать, что изначально машина находится в некотором состоянии S_0 . В этом состоянии водитель (оператор) не оказывает никаких воздействий, следовательно можно назвать состояние S_0 «Ожидание». При этом, каждое воздействие переводит в систему в другое состояние S_1, S_2, \dots, S_n , характеризующее работу какого-либо элемента системы. Например, с помощью рычага можно управлять положением ковша экскаватора. В этом случае при воздействии на рычаг, машина переходит в состояние «ковш в движении». При завершении воздействия, произойдет обратный переход в состояние ожидания. Для представле-

ния такого перехода построим граф переходов (рис. 2). Граф переходов построим в виде диаграммы состояний UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования).

Поскольку каждая часть машины управляется своим рычагом (регулятором воздействия), переводящим машину в определенное состояние, то граф переходов в общем случае можно будет представить в виде, показанном на рис. 3.

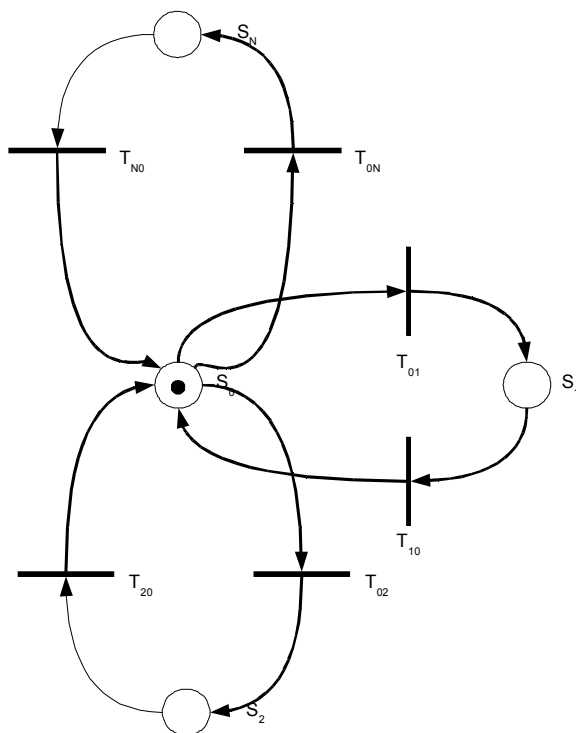


Рис. 4

S_0 - ожидание; $S_i(i \neq 0)$ – рычаг под воздействием (механизм работает); T_{i0} - активировать рычаг управления для перехода в состояние $S_i(i \neq 0)$; T_{0i} - отпустить рычаг управления для перехода из состояние $S_i(i \neq 0)$ в S_0 .

Анализируя полученную модель, можно выявить следующие её особенности:

- система (машина) может одновременно находиться в единственном состоянии.
- переход из одного состояния S_i (отличное от S_0) в любое другое S_j (отличное от S_0) невозможен.

Представление в виде графа переходов полностью описывает компьютерную модель на основе скрипта, расширяющего геометрическую модель машины. Однако, с практической точки зрения, в предложенной модели существенным недостатком является то, что машина может находиться в единственном состоянии. На практике, возможно

нахождение в нескольких состояниях, например ковш может подниматься одновременно с поворотом кабины. Однако, компьютерная модель, предложенная не предусматривает одновременного нахождения в нескольких состояниях, поскольку имитации всех рычагов независимы друг от друга и переход от управления одним рычагом к управлению другим возможен только оставлением первого (переходом в состояние ожидания). Кроме того, представленная модель не предусматривает течение времени.

Для решения проблемы преобразуем граф переходов в сеть Петри. В процессе преобразования, позиции сети Петри будут интерпретированы как некоторые состояния. Если в позиции находится фишка, то моделируемая система находится в

некотором состоянии.

Простейшее преобразование модели автомата (рис. 3) в сеть Петри основано на том, что каждому состоянию автомата взаимно однозначно ставится в соответствие позиция сети Петри. В результате получаем сеть, изображённую на рис. 4. Начальной маркировкой сети можно считать $\mu_0 = (1, 0, 0, \dots, 0)$.

Полученная сеть является безопасной и 1-ограниченной, поэтому при моделировании система по-прежнему может находиться в единственном состоянии. Запуск переходов такой сети полностью соответствует управлению моделью на основе скрипта CAD-системы.

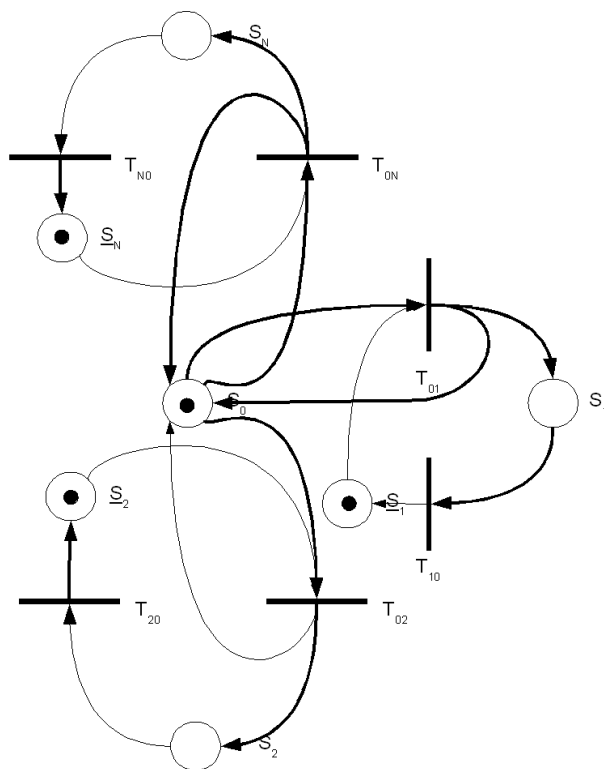


Рис. 5

Стоит отметить, что данный тип сетей Петри не предусматривает параллельность выполнения каких-либо действий, поскольку в сетях Петри нет времени. Это является существенным недостатком предложенной модели.

Однако, возможности сетей Петри помогают решить подобные проблемы. Для усовершенствования введём множество позиций сети Петри, интерпретируемых, как отсутствие того или иного состояния.

Пусть имеем $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ - множество состояний, отличных от S_0 . Каждое состояние S_i обозначает, что i -й элемент системы (машины) работает (активен). Введём множество $\underline{S} = \{\underline{S}_1, \underline{S}_2, \dots, \underline{S}_N\}$. Каждое состояние \underline{S}_i обозначает, что i -й элемент системы неактивен.

Рассмотренный подход доказывает целесообразность использования расширенных сетей Петри, а именно сетей Петри с областями ограничения. В данном случае \underline{S} является областью ограничения.

Ограничим правила запуска перехода неактивностью соответствующего механизма, т.е. каждый переход T_{0i} может быть запущен тогда и только тогда, когда машина находится в состоянии \underline{S}_i , т.е. i -й рычаг неактивен. После такого преобразования, сеть примет вид, изображённый на рис. 5.

Полученная сеть предоставляет возможность нахождения системы в нескольких состояниях $S_i (i \neq 0)$, что фактически означает возможность параллельного воздействия на несколько рычагов управления управления, не-

смотря на то, что данная модель не предусматривает течение времени.

Для того, чтобы показать, что изначально ни один из элементов системы неактивен, назначим начальную маркировку так, чтобы в каждой позиции множества $\underline{S} = \{\underline{S}_1, \underline{S}_2, \dots, \underline{S}_N\}$ находилась фишка.

Таким образом, в рамках данной работы был рассмотрен подход к созданию динамических управляемых моделей горных машин на основе скриптов систем трёхмерного геометрического моделирования. Преимуществом рассмотренных моделей является не только возможность построения симулятора машины, но и его исследование путём построения и дальнейшего преобразования дискретных собы-

тийных моделей машины. Такой подход к моделированию динамических управляемых объектов может быть применён не только в горной промышленности, но и в других отраслях. К важным преимуществам геометрического моделирования со скриптами можно отнести:

- улучшенную интеграцию чертежей и динамических моделей проектируемых систем
- возможности исследования моделей на основе алгоритмов на дискретных структурах.
- простота формализации системы.
- более широкие возможности для управления работой системы в процессе моделирования
- возможность моделирования в режиме реального времени

- возможность тестирования работы моделей систем и обучения персонала работе с ними.

Также, стоит отметить, что низкая стоимость и простота реализации моделей при таком подходе могут упрощают их применение и внедрение на предприятии.

Итак, в рамках данной работы был рассмотрен подход к проектированию горных машин, обеспечивающий интеграцию и преобразование различных типов моделей — геометрических, имитационных, функциональных, математических и физических. Данный подход позволяет исследовать одну и ту же горную машину с разных позиций. Важным преимуществом такого подхода является возможность его применения не только для горных машин, но и для других управляемых устройств и механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатов В.А. Фундаментальные основы дискретной математики. - М.: Физматлит, 1999 — 544 с.
2. Питерсон Д. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М.: Мир, 1984 - 264 с.

3. Федоров Н.В. Имитационное и математическое моделирование сложных систем. Учебное пособие. - М.: МГГУ, 2005 – 250 с.
4. <http://kpolyakov.narod.ru/school/3d/gmax.htm> **ГИА**

Коротко об авторах

Горбатов В.А. – доктор технических наук, профессор,
Фёдоров Н.В. – кандидат технических наук, доцент,
Аристов А.О. –
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru

