

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ ИМИТАЦИОННЫХ
МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НОВЫХ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЦЕХОВ****В.А. Долгов, А.А. Кабанов, Н.С. Андреев, И.В. Дацюк**

В работе предложен подход к формированию исходных технологических данных для построения имитационных моделей, позволяющий использовать информационные модели единичных технологических процессов. Рассмотрена технология автоматизированного создания имитационных моделей, содержащая гибкие логистические связи между элементами производственной системы, позволяющие адаптировать модель к изменениям технологических маршрутов в автоматическом режиме.

В настоящее время при проектировании и модернизации многономенклатурных машиностроительных производств более широкое распространение получают методы имитационного моделирования. В сравнении с традиционными аналитическими способами расчета состава и количества оборудования, коэффициентов его загрузки и простоев, необходимого количества персонала и др., эксперименты на имитационной модели позволяют существенно повысить точность расчетов. Однако трудоемкость и сроки проведения работ, связанных непосредственно с использованием самого метода, значительно выше.

Для достижения поставленной цели математического моделирования одно и то же машиностроительное предприятие может быть представлено множеством имитационных моделей. Следовательно, проблемы создания методик разработки и верификации имитационных моделей, наиболее подходящие для достижения поставленной цели, являются актуальными. При разработке математической модели многономенклатурного машиностроительного предприятия требуется обрабатывать значительное количество исходных данных. Поэтому время работы с моделью составляет значительную часть трудоемкости всего проекта по разработке проекта модернизации производства. Как правило, для моделирования таких производств используется метод дискретно-событийного имитационного моделирования.

В работе представлена технология разработки имитационной модели и результаты ее практического применения на примере механического цеха многономенклатурного машиностроительного завода. Традиционно для расчета таких цехов использовалась следующая обобщенная аналитическая модель:

$$N_i = \frac{T_i}{\Phi_i} K_i, \quad i = 1 \dots n \quad (1)$$

где n - количество типов оборудования или специальностей рабочих;

N_i – количество оборудования i -того типа или рабочих i -той специальности;

Φ_i – эффективный фонд времени работы оборудования i -того типа или рабочих i -той специальности при выполнении годовой программы выпуска;

T_i - станкоемкость или трудоемкость работ оборудования i -того типа или рабочих i -той специальности;

K_i - коэффициент, учитывающий непродуктивные потери времени.

Вся номенклатура деталей, подлежащих обработке, разбивалась на группы по конструктивно-технологическим признакам. В рамках каждой из групп выделялась деталь-представитель, для которой разрабатывался технологический процесс ее

изготовления. Суммарная станкочасовая и трудоемкость по каждой из группы деталей заменялась соответствующими значениями станкочасовой и трудоемкости изготовления детали-представителя. Значение программы выпуска детали-представителя приводилось по известным методикам [1], исходя из значения общей программы выпуска деталей группы. Тем самым существенно сокращался объем работ по описанию каждой из деталей номенклатуры и разработке ее технологического процесса. Достоверности и точности такого способа расчета посвящен ряд работ [2].

С недавнего времени, вместо описанного выше способа расчета, для оценки производственных мощностей и степени их загрузки все чаще стали использовать имитационные модели. Практическим результатом их использования стало повышение качества проектных решений, т.к. моделирование процесса производства позволило учесть технологическую последовательность выполнения работ, время на переналадку оборудования и др. Тем не менее, в таких моделях объектом моделирования по-прежнему оставался материальный поток изготавливаемых деталей-представителей, следовательно. Такой подход позволяет значительно сократить трудоемкость разработки математической модели за счет ее упрощения.

Несмотря на преимущества имитации производственного процесса, в ходе постановки экспериментов использовались все же не реальные детали, а их «усредненные» аналоги. Такое положение обусловлено характерными особенностями многономенклатурного производства, функционирование которого сопряжено с большими объемами информации. Трудности с моделированием производств данного типа связаны с двумя основными группами задач:

1. Сбор и обработка данных для огромного количества номенклатуры деталей;
2. Разработка непосредственно самой имитационной модели и повторное ее использование;

В представляемой технологии предлагается в качестве объекта моделирования использовать «реальные» детали с конкретным десятичным номером. Это позволяет отказаться от абстракций типа «деталь-представитель», что дает преимущества не только в повышении точности расчетов, но и в верификации результатов моделирования и их обосновании. Кроме того, в этом случае гораздо «прозрачнее» становится процесс исследования модели, ее доработка и изменение.

На рисунке 1 приведены типовые процессы подготовки исходных данных для двух вариантов разработки модели:

При подготовке данных для моделирования материального потока изготовления деталей с конкретным десятичным номером применялся метод экспертной оценки норм времени обработки деталей.

Анализируя сильные и слабые стороны каждой из представленных схем, задачу наиболее адекватного описания ими проектируемого производства, в конечном итоге можно свести к следующему:

$$\frac{R^1}{R^2} = \lambda \quad (2)$$

где R^1 – погрешность оценки показателей производительности при 1-ом варианте;

R^2 – погрешность оценки показателей производительности при 2-ом варианте.

Число λ – показатель, по значению которого можно судить о том, какой вариант точнее.

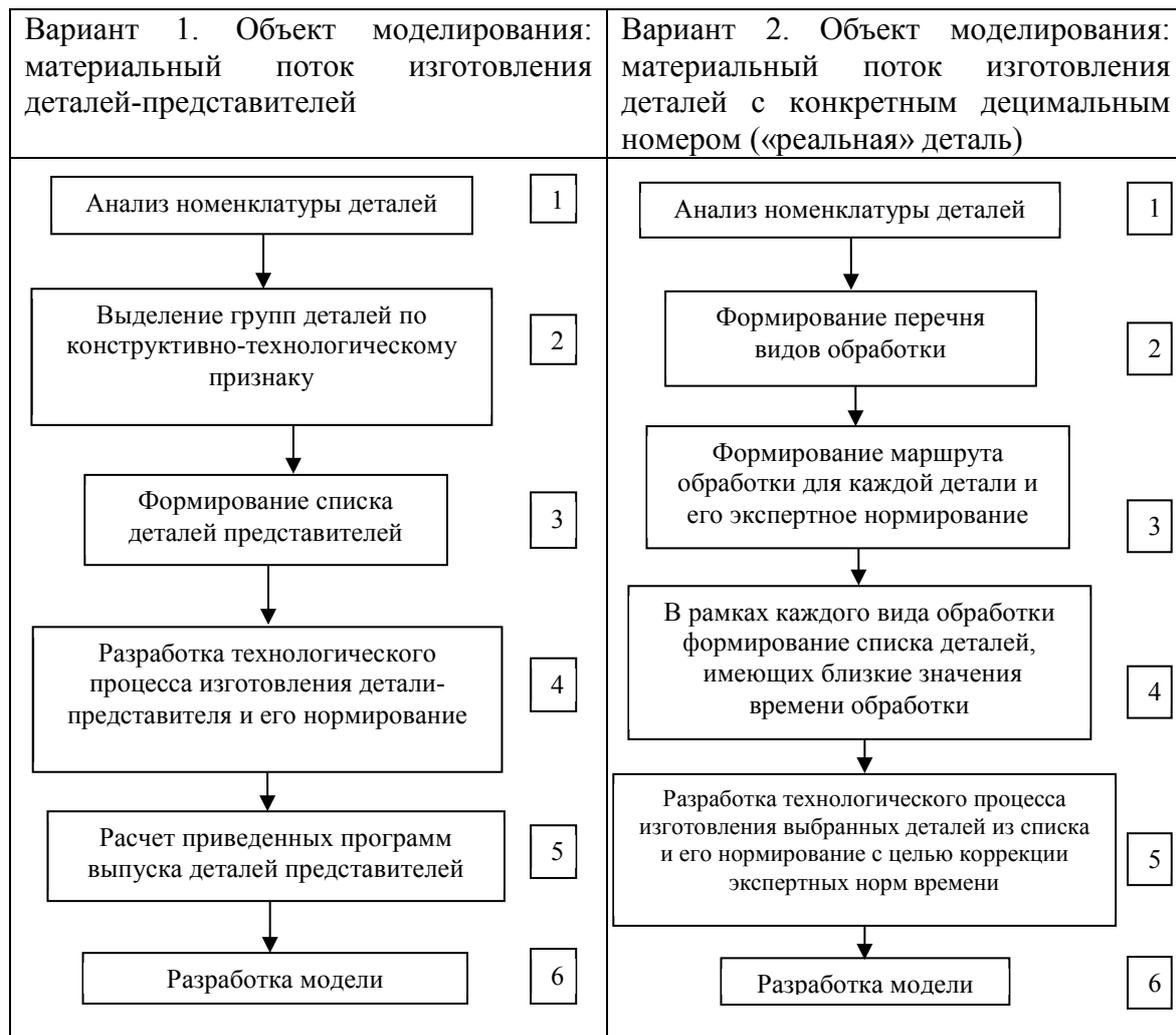


Рис. 1. Процессы подготовки данных для разработки имитационной модели
производства

При этом очевидно, что

$$\lim_{n \rightarrow N} R^1 \rightarrow 0, T_p^1 \rightarrow \max \quad (3)$$

$$\lim_{t \rightarrow T} R^2 \rightarrow 0, T_p^2 \rightarrow \max \quad (4)$$

где n – число деталей-представителей;

N – общее число деталей;

T_p^1 – трудоемкость разработки модели по варианту 1;

T_p^2 – трудоемкость разработки модели по варианту 2;

t – экспертная норма времени операции;

T – расчетное значение нормы времени операции.

Таким образом, предпочтительный будет тот вариант, у которого при приемлемой погрешности, трудоемкость работ будет меньше. Следовательно, цель состоит в нахождении способов повышения точности оценок и уменьшении трудоемкости, как при подготовке данных, так и при разработке имитационной модели.

Вышеприведенные варианты были апробированы при разработке технологического проекта строительства нового механического цеха.

Сравнительный анализ этих вариантов показал, что вариант 2 позволил обеспечить более высокую точность оценки показателей производительности ($\lambda = 1,1$).

Второй вариант предусматривает моделирование каждой детали. Это требует применения процедур автоматизации, так как в этом случае существенно возрастает не только число объектов моделирования, но в большей степени число зависимостей, которые необходимо создать.

С этой целью в проекте разработки технологического проекта строительства нового механического цеха была апробирована технология автоматизированного создания модели, которая предусматривает формирование из набора входных данных в автоматизированном режиме всех необходимых классов модели, элементов и их атрибутов, а также зависимостей и связей (рисунок 2). Это позволило значительно сократить цикл разработки модели.

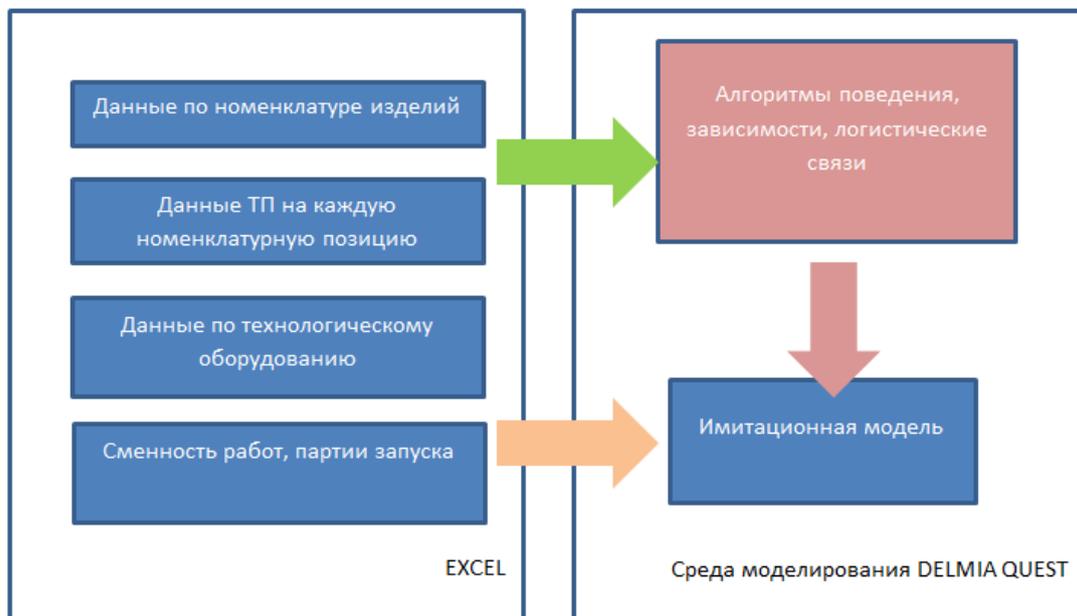


Рис.2. Семантическая модель технологии автоматизированного создания имитационных моделей, содержащая гибкие логистические связи между элементами производственной системы

Входные данные, формализованные в таблицах Excel, обрабатываются процедурами импорта, в ходе которых в имитационной модели автоматически возникают соответствующие сущности.

Кроме средств автоматизации преобразования исходных данных в классы модели и их атрибуты, в предлагаемой технологии используются специальные алгоритмы поведения модели.

Существующие методы задания логистических связей между элементами производственной системы являются трудоемкими и не могут быть использованы для реализации 2-го варианта.

Для решения этой проблемы, разработано решение, основанное на идее универсального алгоритма маршрутизации детали от каждого элемента производственной системы к следующему.

К детали привязана последовательность ее обработки, а в модели заранее предопределены все возможные пути ее маршрутизации. На рисунке 3 белыми стрелками отмечено пространство возможных путей маршрутизации. Алгоритм отслеживает изменения в списке выполненных процессов для детали и направляет ее к требуемому рабочему месту.

В технологии автоматизированного создания имитационных моделей разработано решения для учета процессов переналадки оборудования. Это решение запускает процесс переналадки оборудования, как только на единицу оборудования приходит деталь, отличная от той операции, которая выполнялась на оборудовании.

Рассмотрим такой параметр как, возможное число зависимостей Q_p , необходимых для задания в математической модели производственной системе на единице оборудования, в зависимости от вариантов формирования партий запуска и прохождения материального потока через рабочее место.

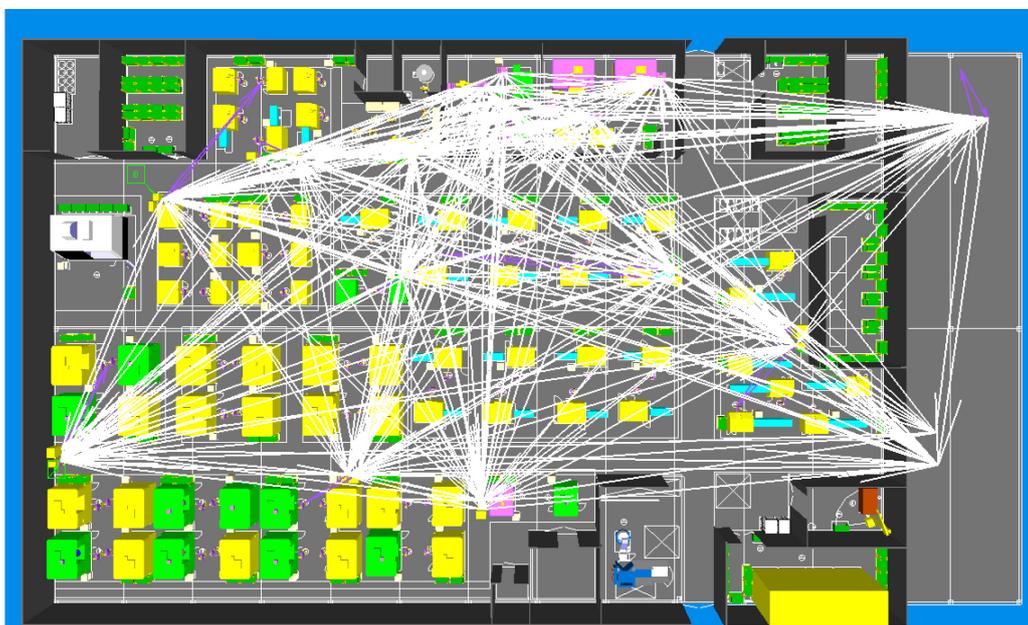


Рис.3. Логистические связи между элементами производственной системы

Зависимость, необходимая для определения процесса переналадки на оборудовании, представлена следующим образом: Процесс переналадки от процесса «Имя процесса 1» к процессу «Имя процесса 2».

Чтобы полностью определить все возможные процессы переналадки на оборудовании, необходимо предусмотреть процессы переналадки между всем множеством процессов. Количество переналадок определяется по формуле:

$$Q_p = N_{op}(N_{op} - 1) \quad (5)$$

где N_{op} – количество операций, закрепленное за рабочим местом.

В качестве примера, если принять количество операций, закрепленное за рабочим местом $N_{op} = 500$, то по формуле (5) получим:

$$Q_p = N_{op}(N_{op} - 1) = 500 * 499 = 249500.$$

Чтобы избежать переопределения модели, и насыщения ее избыточными данными, в технологии создан алгоритм динамического назначения процесса

переналадки на оборудование, срабатывающий непосредственно во время запуска эксперимента.

Элемент, выполняющий функцию маршрутизатора, определяет тип обрабатываемой детали, и в случае если деталь отлична от передаваемой, автоматически создает процесс переналадки с нормой времени, взятой из атрибута технологического процесса.

В рассматриваемом примере механического цеха машиностроительного завода моделировалась работа порядка 100 единиц технологического оборудования с номенклатурой около 2 тыс. деталей. Интервал моделирования – 1 год.

В варианте 1 рассматриваемое производство было приведено к модели, которая содержала порядка 100 деталей-представителей. В варианте 2 моделировались все детали. Несмотря на более чем 20-ти кратное увеличение количества только деталей (без учета соответствующих технологических процессов) цикл разработки модели в варианте 2 занял втрое меньше времени (без учета подготовки исходных данных для модели), чем в варианте 1. При этом точность, в сравнении с результатами статического моделирования [3] повысилась на 10%.

На рисунке 4 представлена диаграмма относительной длительности цикла реализации работ по разработке проекта нового механического цеха в части определения состава и количества необходимого оборудования. Из диаграммы видно, что перераспределение времени в реализации процедур позволило сократить общую длительность примерно на 20%.

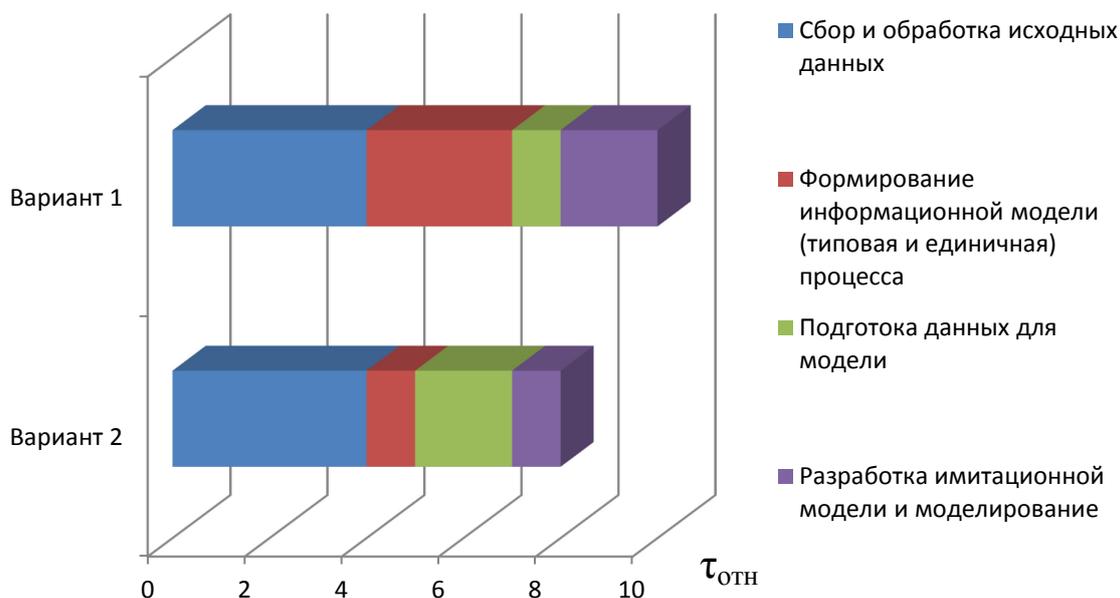


Рис. 4. Относительный цикл реализации проектных процедур для вариантов 1 и 2

Научная новизна

Разработан алгоритм маршрутизации детали от каждого элемента производственной системы к следующему при изменении технологического процесса. Разработан алгоритм формирования исходных технологических данных для построения имитационных моделей, позволяющий использовать информационные модели единичных технологических процессов.

Практическая значимость

Разработано инструментальное средство для автоматической адаптации модели к изменениям технологических маршрутов.

Выводы

Предложенные решения создания имитационных моделей многономенклатурных машиностроительных позволили повысить точность имитационной модели на 10% и сократить трудоемкость разработки модели на 20%.

Литература

1. Брюханов В. Н., Петрухин А. М. Системотехника компьютеризированного производства, М.: ГОУ ВПО МГТУ СТАНКИН, 2008.
2. Митрофанов С. П. Научная организация машиностроительного производства, Л: Машиностроение Ленинградское Отделение, 1976;
3. Григорьев С. Н., Долгов В. А., Краснов А. В., Кабанов А. А., Андреев Н. С. Метод технологического аудита проектов технического перевооружения авиационных предприятий, Авиационная Техника №2, 2015.