



Заключение. Предложенная методика позволяет проводить динамический анализ компоновок станков на ранних стадиях проектирования (эскизное проектирование, техническое предложение) с применением ПО *CAD/CAE*-систем и МКЭ.

Литература

1. Врагов, Ю. Д. Анализ компоновок металлорежущих станков / Врагов Ю. Д. – М.: Машиностроение. – 1978. – 208 с.;
2. Dassault Systemes [Электронный ресурс]: // SolidWorks. – 2019. Режим доступа: <https://www.solidworks.com/ru> . – Проверено 16.05.2019.
3. ООО «Стан» [Электронный ресурс] // СТАН – лидер российского станкостроения. – 2019. – Режим доступа: <https://www.stan-company.ru> . – Проверено 16.05.2019.
4. Информационные технологии в проектировании мехатронного оборудования: учеб. пособие / К. С. Кульга; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2014. – 201 с.

К.С. Кульга, А.А. Китаев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВЛОЖЕННЫХ СЕТЯХ ПЕТРИ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

(Уфимский государственный авиационный технический
университет «УГАТУ»)

Цифровая экономика и существенное повышение конкуренции на мировом рынке ставят перед предприятиями авиационной, авиадвигателестроительной и машиностроительной промышленности (далее, предприятия) новые задачи, связанные с повышением эффективности производства партий деталей и сборочных единиц (ДСЕ) высокотехнологической продукции. Для решения этих задач, ведущие зарубежные компании продолжают активно вести исследования в следующих перспективных направлениях: создание новых методологий компьютерного моделирования, проектирования и изготовления гибких производственных систем (ГПС) с применением оборудования с ЧПУ, функционирующих в едином информационном пространстве предприятия в безлюдном режиме. Экономическая эффективность внедрения ГПС на предприятиях определяется совокупностью конструкторских, технологических, производственных, организационных, экономических и управленческих решений. Следовательно, результативность внедрения ГПС, может быть достигнута с учётом значений группы выходных параметров (критериев) ГПС, определение которых, является трудоемкой задачей.

Для решения этой задачи предложены новый метод имитационного моделирования компоновок ГПС и других производственных систем с помощью модифицированных вложенных сетей Петри (МВСП) [**Ошибка! Источник**



ссылки не найден.]. Кроме того, анализ зарубежной литературы последних лет показывает, что наиболее актуальными являются задачи имитационного моделирования для решения вопросов оперативно-календарного планирования, а также интеграции с системами автоматизированного управления реального времени, для определения оптимальных алгоритмов управления [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. В связи с этим актуальной является задача моделирования производственных систем с помощью МВСП на уровне отдельных переходов операций обработки.

Цель работы. Разработка механизма горизонтальной синхронизации в МВСП для имитационного моделирования в ГПС связанных и параллельно протекающих процессов

Теоретическая часть. В имитационной модели МВСП операция представляется в виде временной сети Петри [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. При этом позиции сети Петри отражают текущее состояние выполняемой операции, а переходы — переход от одного состояния к другому. Рассмотрим пример модели операции обработки детали на многоцелевом токарном обрабатывающем центре (ОЦ) (рисунок 1).

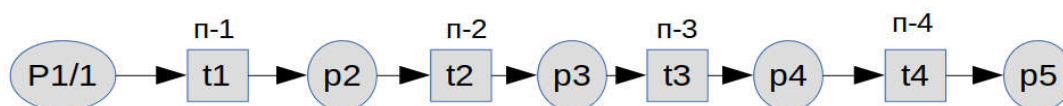


Рисунок 1 – Пример модели операции обработки детали на ОЦ представленной сетью Петри

Состояния выполнения операции представлены позициями $P_1 \dots P_5$ (через «/» указано начальное количество фишек в позиции), переходы $t_1 \dots t_4$ представляют переходы из одного состояния в другое. P_1 – представляет заготовку, установленную в патрон станка; t_1 (п-1) – операция чернового точения, P_2 – заготовка после операции чернового точения, t_2 (п-2) – операция чистового точения, P_3 – заготовка после операции точения, переходы t_3, t_4 (п-3, п-4) – операции фрезерования, и позиции P_4, P_5 – заготовка после первой операции фрезерования и готовая деталь. Задавая время срабатывания переходов $t_1 \dots t_4$ мы можем настроить время выполнения моделирования каждой операции. В результате получена линейная модель и в простейшем варианте в ней можно было бы исключить переходы $t_2 \dots t_4$ и позиции $P_3 \dots P_5$, и время срабатывания перехода t_1 отражало бы общее время обработки детали. Для обеспечения возможности комплексного моделирования нескольких взаимосвязанных процессов протекающих параллельно, требуется увеличить уровень детализации этих процессов.

Для взаимодействия разных процессов, связанных с различными объектами одного уровня вложенности, используется механизм **горизонтальной синхронизации**. Данный механизм применяется так же и в оригинальном методе вложенных сетей Петри [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Одна-



ко с учётом используемых модификаций реализация в данном методе имеет некоторые отличия.

Так как моделирование операции возможно только, если фишка находится в соответствующей позиции [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], то и синхронизация возможна только при наличии связанных фишек в одной позиции. Одновременно, в одной имитационной модели, может выполняться моделирование одинаковых наборов взаимосвязанных операций, независимо друг от друга в разных позициях МВСП.

Набор связанных операций представлен деревом, корнем которого является операция, помеченная как основанная. Связи между операциями направлены от основной к последующим (рисунок 2).

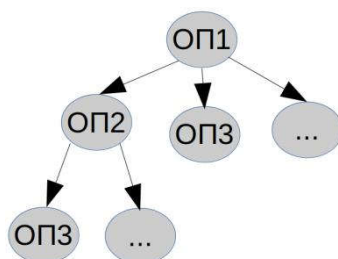


Рисунок 2 – Дерево связанных операций

Каждая i -ая ($i = 1..n$) операция в МВСП представляется картежем (3)

$$OP_i = \{C, HSNC\}, \quad 1)$$

где $C = \{P, T, D^+, D^-, M, TM\}$ - временная сеть Петри, P - множество позиций сети Петри, T - множество переходов сети Петри, D^+, D^- - матрица входов и выходов сети Петри соответственно, M - начальная маркировка сети Петри, TM - вектор весов переходов, определяющих временную задержку их выполнения;
 FM - флаг, что операция является основной;
 $HSNC$ - таблица синхронизации.

Таблица синхронизации так же является картежем (3). Таблица синхронизации описывает взаимосвязи между разными операциями, разных фишек МВСП

$$HSNC = \{Pt, \{Tl\}, \{Str\}, \{\{St\}\}\}, \quad 2)$$

где Pt - тип позиции, в которой возможна синхронизация;
 $\{Tl\}$ - множество типов связанных фишек, операции в которых синхронизируются с данной;
 $\{Str\}$ - множество переходов данной операции, с которыми выполняется синхронизация;
 $\{\{St\}\}$ - множество множеств параметров синхронизации.

Параметры синхронизации описываются картежем (3)



$$St = \{TN, SO, SOT\}, \quad 3)$$

где TN - индекс фишки во множестве $\{Tl\}$;
 SO - номер операции, с которой выполняется синхронизация;
 SOT - номер перехода в сети Петри операции, с которой выполняется синхронизация.

Рассмотрим сети Петри для моделирования процесса износа инструмента во время выполнения операции (рисунок 3).

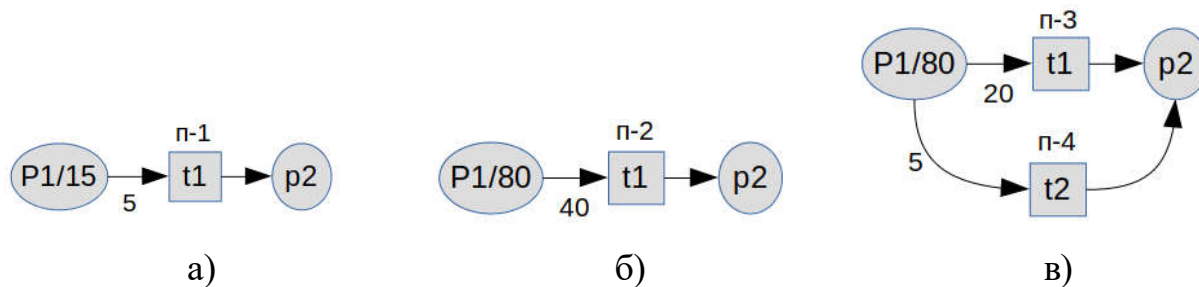


Рисунок 3 – Сети Петри для моделирования операций износа инструмента

Переходы сети Петри, помеченные как $n-1..n-2$ связаны с аналогичными переходами операции обработки детали (см. рис. 1).

Связанные переходы могут выполняться только одновременно, при этом отсутствие условия для срабатывания перехода в одной операции является основанием для блокирования перехода другой операции.

Таблица синхронизации формируется по следующим правилам: определяется набор синхронных операций, в которых отмечаются синхронные переходы; для основной операции ($FM = 1$) прописываются связи с другими операциями ($HSNC$); указывается идентификатор позиции, в которой будет работать синхронизация (Pt); прописываются идентификаторы фишек со связанными операциями (Tl); прописывается множество переходов текущей операции, для которых используется синхронизация (STr); для каждого перехода операции, прописывается множество параметров синхронизации ($\{St\}$). При этом связь между операциями односторонняя, то есть таблица синхронизации указывается от одной операции к другой. Таким образом, операции, являющиеся листьями дерева связанных операций (рисунок 2), не имеют таблиц синхронизации. Однако такие операции не могут моделироваться отдельно, так как не отмечены как основные ($FM = 0$).

В рассматриваемом примере в операциях на рисунке 3.а (износ инструмента при черновом точении) переход t_1 связан с переходом t_1 операции обработки детали (рисунок 1). Таким образом, для выполнения моделирования операций необходимо, что бы оба перехода были разрешены. Например, в случае если в позиции P_1 (начальная маркировка 15) будет меньше пяти фишек, переход t_1 в обеих операциях будет запрещён. Такая ситуация соответствует износу инструмента, и продолжение выполнения операции обработки детали может



быть возможно только при замене инструмента (замена фишки — инструмента в позиции МВСП).

Вывод. В статье предложен механизм горизонтальной синхронизации в МВСП, позволяющий выполнять имитационное моделирование связанных процессов, протекающих параллельно в производственной системе (например, обработка деталей и износ инструмента, расход дополнительных материалов). Применение этого механизма увеличивает уровень детализации и повышает точность имитационного моделирования производственных систем.

Литература

- 1 Кульга К.С., Китаев А.А. Имитационное моделирование гибких производственных систем на стадии эскизного проектирования // СТИН. 2017. №6. С. 2-10.
- 2 Negahban A., Smith J. S. Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis //Journal of Manufacturing Systems. – 2014. – Т. 33. – №. 2. – С. 241-261.
- 3 Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. — М.: Мир, 984. — 264 с, ил.
- 4 Ломазова И. А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределённых систем с объектной структурой. – Научный мир, 2004.

Н.К. Кусюмов, В.В. Мокшин

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕСУРСОВ КАЗАНСКОГО АЭРОПОРТА В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

(КНИТУ-КАИ имени А.Н. Туполева)

Каждый человек сталкивался с долгой и изнуряющей подготовкой к вылету: прохождение металло детекторов, регистрация на рейс, сдача багажа, прохождение паспортного контроля, ожидание вылета и непосредственно сама посадка на самолет. Все эта подготовка к вылету выматывает нас, однако каждый этап очень важен в работе аэропорта, ведь он обеспечивает комфортность и безопасность полетов.

Каждый человек старается не тратить свое время попусту, а очереди и сам процесс прохождения какого-то этапа занимает огромное количество времени. Поэтому хотелось бы чтобы очереди занимали меньше времени у людей, готовящихся к полету. Именно такие места я постарался взять к рассмотрению и их оптимизации в системе имитационного моделирования Anylogic.

Целью данной работы является нахождения оптимального количества ресурсов, используемых в аэропортах. Эта работа нацелена на минимизацию времени нахождения людей в очередях и на этапах подготовки к вылету. Методика и методы анализа подобных сложных систем представлены в работах.