

УДК 681.3

Об одной методике постановки имитационных экспериментов при оценке пропускной способности технологических процессов производства

А.М.ПОТАШЕНКО

1. Актуальность проблемы исследования ТПП

Исследованию динамики развития технологических процессов производства (ТПП) уделяется много внимания [1,2]. Однако применение аналитических методов при анализе пропускной способности ТПП зачастую не обеспечивает необходимой адекватности реальной ситуации. Особенно усложняется анализ параметров ТПП при вероятностном характере значений длительностей выполнения (τ_{ij}) микро технологических операций (МТХО_{ij}), задаваемых матрицей вероятностей $\|P_{ij}\|$, а сами длительности выполнения технологических операций (ТХО_i) задаются матрицей условных распределений $\|F_{ij}(\tau)\|$. Выходом из создавшегося положения является использование методов и средств имитационного моделирования [3]. Вероятностный характер GRF с произвольными типа распределений обуславливает необходимость постановки серий имитационных экспериментов (ИЭ) и использования метода Монте-Карло [4]. В таких случаях результат ИЭ также будет вероятностным. Поэтому оценка пропускной способности ТПП, представленного вероятностным графом GRF, весьма актуальна.

2. Использование ПТКИ ТПП для оценки пропускной способности ТХО

Для решения проблемы исследования ТПП с помощью ИЭ был разработан программно-технологический комплекс имитации (ПТКИ) ТПП [3]. Применение комплекса основано на формализации ТПП с помощью модифицированного метода сетевого планирования. Наряду с традиционным представлением ТПП в виде сетевых графиков (СГЗ) с детерминированными последовательностями выполнения МТХО_{ij} с нормативными значениями времен их выполнения τ_{ij} добавляются элементы, называемые “вероятностными кустами” работ (ВКР_{ij}). Каждый куст ВКР_{ij} представляет собой множество работ {МТХО_{ij}}, в котором часть из них имеет детерминированный характер τ_{ij} , а остальные являются случайными величинами с вероятностным характером (P_{ij}) их выполнения. Кроме того, в описания работ наряду с τ_{ij} задаются дополнительные характеристики ресурсов реализации МТХО_{ij}. Для этого используются функциональные зависимости, связывающие τ_{ij} со стоимостью (CT_{ij}), затратами оборудования (ZO_{ij}) составом рабочей силы (RS_{ij}), расходом материалов (mt_{ij}). В результате, наряду с традиционной оптимизацией методами сетевого планирования появляется возможность получения дополнительной информации и расширение области оптимизации ТПП.

Использование ПТКИ ТПП имеет свои особенности. Во-первых, это диалоговый характер конструирования GRF из множества МТХО_{ij} при одновременной проверке корректности задания параметров реализации МТХО_{ij} ($F(\tau_{ij})$, $F(CT_{ij})$, $F(RS_{ij})$, $F(mt_{ij})$, ВКР_{ij}).

Во-вторых, преобразование GRF с вероятностными характеристиками во множество i -х его реализаций, но уже с детерминированным характером, каждая из которых вычисляется по стандартным методикам анализа параметров сетевого графика [2]. В-третьих, для вычисления ранних и поздних сроков свершения событий в i -ой реализации GRF_i используется имитация с прямым и инверсным характером изменения модельного времени (t_0). При этом моделируется также захват и освобождение ресурсов ТПП в ходе имитации выполнения

$MTXO_{ij}$. Это позволяет построить временную диаграмму (ВД) использования всех видов ресурсов ТПП при реализации $\{TXO_i\}$. В-четвертых, по статистике имитации определяются усредненные характеристики расхода ресурсов и функции распределения характеристик TXO_i , определяемым по выборкам, каждый элемент которых является реализацией по методу Монте-Карло.

3. Методика постановки имитационных экспериментов с помощью ПТКИ ТПП

Добавление вероятностных элементов в GRF исключает возможность использования стандартной методики анализа сетевых графиков. Поэтому была разработана методика применения ПТКИ ТПП для решения задачи оценки пропускной способности, которая реализуется следующей последовательностью этапов.

1. Запись параметров GRF в информационную базу данных (ИБД) комплекса. Происходит преобразование описания TXO_i во внутреннее представление, контроль корректности описания вероятностного сетевого графика (ВСГ), вывод результатов этого контроля на дисплей для устранения ошибок в описании ВСГ. Взаимодействие ПТКИ ТПП с пользователем набора "меню" в режиме вопрос-ответ. По завершении этого этапа синтаксические ошибки в ВСГ исправлены.

2. Расчет и анализ параметров ВСГ по методу Монте-Карло следующей последовательностью шагов.

2.1. На i -ой реализации ВСГ ($i = \overline{1, N}$) по GRF разыгрываются значения параметров $MTXO_{ij}$ и направлений связи работ друг с другом. В результате, ВСГ превращается в ДСГ с постоянным составом $MTXO_{ij}$ и постоянных значений параметров $MTXO_{ij}$.

2.2. Проводится анализ динамических ошибок в ВСГ. При их обнаружении дальнейший расчет параметров сетевого графика не выполняется и ПТКИ ТПП переходит в режим диалога с исследователем для корректировки GRF. Первые два этапа могут выполняться многократно до тех пор, пока не будет завершена верификация i -ой реализации ВСГ, у которой все параметры $MTXO_{ij}$ имеют детерминированный характер.

2.3. Моделируется выполнение ДСГ в режиме прямого изменения модельного времени t_0 при вычислении ранних сроков свершения событий ДСГ (t_{ijp}). При этом имитируется расход и возврат ресурсов ТПП в ходе выполнения $MTXO_{ij}$. При вычислении поздних сроков свершения событий (t_{ijp}) используется имитация ДСГ с инверсным характером изменения модельного времени (t_0). При возникновении динамической ошибки дальнейший расчет параметров ДСГ не выполняется, а происходит запись информации об ошибочной реализации ВСГ в специальный журнал, который затем анализируется исследователем.

2.4. Расчет параметров ДСГ, нахождение резервов свершения событий (R_{ij}), определение типовых характеристик напряженности $MTXO_{ij}$ и критического пути (KPI_i).

2.5. Формирование выборок значений ВСГ. Каждой i -ой реализации ВСГ _{i} соответствуют i -ые номера параметров ВСГ _{i} в буфере статистики моделирования.

2.5. Если $i < \alpha$, то происходит переход к шагу 2. 1. В противном случае осуществляется запись статистики имитации в соответствующий файл во внешней памяти ПТКИ ТПП (ФСТ).

3. Оптимизация ВСГ и принятие решений в условиях неопределенности реализуется последовательностью шагов:

3.1. Формирования по выборкам функций распределений значений статистик имитации ВСГ (F_z) и дисперсий (D_z). Здесь под z понимают перечисленные ранее характеристики выполнения $MTXO_{ij}$ сроков свершения $MTXO_{ij}$, длины критических путей.

- 3.2. Анализ критического пути. Каждый КРП_i представляет собой последовательность пар МТХО_{ij} и событий, обладающих нулевым резервом времени свершения. Для всех реализаций ВСГ может существовать множество {КРП_i}. Алгоритм анализа ВСГ представляет собой диапазон различных событий, одновременно возникающих в одно и то же t_0 у различных реализаций КРП_i в ВСГ.
- 3.3. По результатам статистической обработки параметров {МТХО_{ij}}, событий и критического пути осуществляется выбор наиболее вероятного КРП_i, находятся оценки вероятностных значений коэффициентов напряженности МТХО_{ij}. При этом определяется список событий, имеющих наибольшие резервы времени их свершения с весьма высокой вероятностью. Из этого списка выбираются все {МТХО_{ij}}, входящие в эти события, и намечаются кандидаты на изъятие у них ресурсов на величину, соответствующую этому резерву времени.
- 3.4. Если множество {КРП_i} достаточно большое, то из него формируется новый граф GRF*, состоящий из последовательностей критических путей. В этом графе параметры МТХО_{ij} представляют собой их математические значения M_z . Используя множество {КРП_i}, формируются вероятности переходов (P_{ij}^*) в графе GRF*. В итоге формируется граф GRF*, в котором длительности выполнения {МТХО_{ij}*} детерминированные, а переходы вероятностные.
- 3.5. Далее происходит переход на 2. 3 для случая, когда GRF* является достаточно сложным. Если же GRF* вырождается до нескольких последовательностей, в которых одна из них имеет наиболее высокую вероятность выполнения, то осуществляется переход на 3. 6. Такая ситуация будет иметь место после нескольких итераций анализа GRF*.
- 3.6. Информация, сформированная на предыдущих шагах этапа 3, выдается исследователю на экран дисплея. При этом он может принять решение о завершении работы, либо скорректировать в диалоговом режиме параметры МТХО_{ij} с учетом технологических ограничений на реализацию отдельных работ ВСГ.
- 3.7. Меняются параметры модифицируемых работ, и управление передается на выполнение этапа 1. Далее процесс имитации ВСГ начинается сначала либо производится сравнение результатов, полученных на предыдущей итерации. Оценивается эффективность модификации ВСГ по критерию близости сравниваемых вариантов и принятие решений с помощью классических критериев принятия решений [3] по модификации параметров ВСГ или окончанию расчетов.

4. Состав задач исследования, решаемых с помощью ПТКИ ТПП, и методики его использования

ПТКИ ТПП и методика его использования ориентирована на решение следующих задач исследования GRF.

1. Поиск узких мест в ТПП, реализующем ВСГ.
2. Определение пропускной способности вероятностных ТПП.
3. Нахождение диапазона требований на ресурсы ТПП, выдвигаемых для обеспечения вероятностного GRF заданной структуры.
4. Вероятностная оценка времен реализации ТХО_i с заданной структурой GRF.
5. Оценка вероятности задержки выполнения комплекса работ в ТПП из-за отказов работоспособности оборудования, на которых реализуются {МТХО_{ij}}.

Каждая из этих задач решается типовой последовательностью процедур:

- ранжировка событий GRF по величине резерва $\{R_i\}$;
- построение функций распределений $F(R_i)$;
- построение функций коэффициентов напряженности МТХО_{ij};
- ранжировка МТХО_{ij} по величине коэффициентов напряженности.

Важной особенностью решения перечисленных задач исследования ТПП является возможность одновременного построения трех типов критического пути: по времени его выполнения (GRFT); по стоимости реализации ТПП (ПКАС); по расходу материалов и комплектующих изделий (GRFM). Параллельно с определением критических путей каждого из этих графов (в ходе их имитации при прямом изменении модельного времени t_0) фиксируются временные диаграммы (ВД) изменения: индивидуальных ресурсов, оборудования, загрузки оборудования ресурсов общего использования. ВД расхода стоимостей и материалов по своей сути позволяют отобразить динамику обеспечения реализации ТПП. Для остальных характеристик реализаций GRF исследователь может определять диапазоны их изменения для обеспечения ТПП от минимального до максимального значений.

Собственно же оценка пропускной способности представляет собой усредненную характеристику величины критического пути ($\overline{T_{кр}}$), полученную на основе анализа GRET. Аналогом пропускной способности ТПП при анализе финансовых возможностей предприятия будет QC, которая также равна обратной величине ($\overline{C_{кр}}$). Оценка обеспеченности ТПП материалами и комплектующими изделиями может проводиться по QM равной обратной величине ($\overline{M_{кр}}$). Таким образом, ПТКИ ТПП и предложенная методика его использования при решении задач проектного моделирования ТПП позволяет рассмотреть основные аспекты обеспеченности их реализации по ресурсам времени, стоимости и обеспеченности их материалами.

Abstract

The author considered a technique of organizing imitating experiments at an estimation of the throughput of technological processes of the manufacture.

Литература

1. Ю.И. Дегтярев. Исследование операций. Уч. для ВУЗов спец. АСУ, М. Высш. школа, 1986. – 230 с.
2. С.И.Жогаль, И.В.Максимей. Задачи и модели исследования операций Ч. 1. Аналитические модели исследования операций. Уч. пособие, Гомель: БелГУТ, 1999. – 124 с.
3. И.В.Максимей, В.Д.Левчук, С.П.Жогаль и др. Задачи и модели исследования операций. Ч. 3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений. Уч. пособие: Гомель, БелГУТ. 1999. – 150 с.
4. И.В. Максимей, Е.О.Попова, А.М.Поташенко и др. Применение программно-технологического комплекса имитации при оценке возможности возникновения чрезвычайных ситуаций в технологических процессах производства. // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – 2002. – №6(15). – С. 67–69.