

Имитационная модель технологического процесса дискретного производства

Е.О.Попова

1. Определение объекта исследования

Объектом исследования являются технологические процессы производства (ТПП), обладающие следующими особенностями:

- дискретный характер технологических операций (TXO_i) (например, ремонтные операции, сопровождающиеся сборкой и разборкой изделий, длительности выполнения которых являются случайными величинами с заданными функциями распределений табличного или аналитического вида);
- существует иерархия выполнения операций, число которых меняется на разных стадиях реализации ТПП;
- каждая TXO_i может состоять из одной или последовательности микро технологических операций ($MTXO_{ij}$);
- число TXO_i и порядок их реализации определяются структурой графа ($GRTXO_i$);
- имеет место специализация узлов обработки ($UZOB_k$) по группам $\{MTXO_{ij}\}$, причем каждый из этих узлов обработки требует своего состава и размеров ресурсов $\{RES_l\}$ предприятия общий объем которых ограничен;
- в состав множества $\{RES_l\}$ входят: материалы и комплектующие изделия (mt_0l), распределяемое оборудование (OB_{0h}), рабочие площади ($Y3Or$); исполнители (ISP_l);
- кроме обычных $MTXO_{ij}$ в составе $GRTXO_i$ имеются специфичные операции типа “расщепления” ($RASC_{ij}$) и “сборки” ($SBOR_{ij}$) ветвей алгоритма ТПП;
- структура $GRTXO_i$ фиксирована и задается “технологической картой”, вероятностные переходы отсутствуют в этих операциях, хотя времена и стоимость выполнения $MTXO_{ij}$ на $UZOB_k$ имеют вероятностную природу и задаются функциями распределений ($F(\tau_{ij})$ и $F(C_{ij})$);
- векторный характер параметров $MTXO_{ij}$ (mt_{0ij} , OB_{ij} , $Y3Or_i$, $\{ISP_{lij}\}$, τ_{ij} , C_{ij});
- возможность реализации параллельно выполняемых $MTXO_{ij}$ на одном и том же составе оборудования, материалов, обслуживающего персонала на основе конкуренции и приоритетов $MTXO_{ij}$.

2. Актуальность имитационного моделирования ТПП

Особенности рассматриваемого класса ТПП показывают, что исследуемый объект является чрезвычайно сложной, непредсказуемой, динамически изменяющейся сложной системой (СС), для которой не только аналитические, но даже численные модели построить чрезвычайно сложно. Любая техническая задача анализа поведения ТПП или составления прогноза технологических характеристик ТПП превращается в сложную научную проблему. Выходом из создавшегося положения является использование методов имитационного моделирования СС, методология применения которого изложена в работе [1]. Однако имитация довольно ресурсоемкое мероприятие, которое усложняется необходимостью использования метода Монте-Карло, поскольку параметры большинства $MTXO_{ij}$ имеют вероятностный характер. Анализ особенностей ТПП рассматриваемого класса показывает, что обычные средства автоматизации имитационного эксперимента (ИЭ) слабо подходят для снижения ресур-

соемкости вариантов ИМ ТПП [2]. Речь должна идти о специальном языке описания состава и структуры $\{GRTXO_i\}$ и соответствующей среде автоматизации этапов построения, испытания и эксплуатации ИМ ТПП. Анализ существующих средств описания СС и средств построения ИМ СС показал, что основой для построения специального программного обеспечения ИЭ при исследовании динамики реализации ТПП может служить система моделирования (СМ) MICIS [2]. Поэтому актуальными являются задачи модификации СМ MICIS и разработка методики построения с помощью СМ MICIS ИМ ТПП с переменной структурой. В данной работе излагаются: принципы построения ИМ ТПП с переменной структурой (ПС) реализации ТХО_i; состав и структура ИМ ТПП ПС, а также состав статистик и откликов моделирования.

3. Принципы построения ИМ ТПП с переменной структурой

ИМ ТПП должна обеспечить исследование динамики реализации $\{TXO_i\}$, когда на одних и тех же рабочих площадях предприятия при одних и тех же ресурсах может быть реализовано несколько ТПП_k, каждый из которых имеет свою “траекторию” их использования исходя из имеющихся общих размеров ресурсов $\{RES_i\}$. Это обстоятельство диктует необходимость применения при построении и использовании ИМ ТПП следующих принципов:

- наиболее важные взаимосвязи технологических цепочек $\{TXO_i\}$ задаются последовательностью параметризованных $MTXO_{ij}$;
- необходимо отобразить специализацию $UZOB_k$ и ресурсное обеспечение выполнения соответствующей группы обслуживаемых $MTXO_{ij}$;
- в алгоритме реализации ТПП необходимо также заранее указать состав и порядок распределения операций расщепления и объединения TXO_i ($RASC$ и $SBOR_{ij}$);
- в качестве аппарата формализации ТПП необходимо использовать его иерархическое представление в виде технологической карты (ТК) и транзактный способ передачи информации о ТХО_i для описания алгоритмов в “теле” транзактов (TR_i);
- выполнение алгоритмов $MTXO_{ij}$ регулируется последовательностью управляющих сигналов “открыть”, “закрыть” или “прервать”, формируемых процессами, имитирующими функционирование $UZOB_k$;
- для обеспечения оперативности компоновки ИМ ТПП необходимо в “телах” TR_i хранить: саму ТК, статистику использования транзактами множества $\{UZOB_k\}$ за время жизни TR_i ($\{StTR_i\}$);
- при отображении динамики реализации запросов на $MTXO_{ij}$, функционирования $UZOB_k$ и расходования при этом множества ресурсов предприятия $\{RES_i\}$ используется два вида процессов имитаторов: исполнения $MTXO_{ij}$, отображающих реализации технологической цепочки запроса в ТК ($PRMTXO_{ij}$); процессов расхода RES_i на $UZOB_k$ в интересах $MTXO_{ij}$ ($PR-UZOB_k$);
- отображение выполнения $MTXO_{ij}$ двумя типами взаимодействующих процессов требует использования двух типов транзактов: информационного ($TRIZ$) и управляющего ($TRUP$), каждый из которых обслуживается соответствующим процессом из технологической цепочки ($PRMTXO_{ij}$) и процессом, имитирующим обработку и расход ресурсов ($PRUZOB_i$);
- синхронизацию выполнения $PRMTXO_{ij}$ и $PR-UZOB_i$ необходимо обеспечить с помощью сигналов “открыть” и “закрыть” $PRMTXO_{ij}$, формируемых $PRUZOB_i$ соответственно в начале и в конце выполнения $MTXO_{ij}$.

Применение перечисленных принципов позволяет отобразить с помощью TR_i различные состояния запроса таким образом, что каждому состоянию транзакта $TRIZ_{im}$ соответствует свой процесс $PRUZOB_i$. В результате граф $GRTXO_i$ возможных маршрутов движения $TRIZ_{im}$ описывает поведение TR_i в ИМ ТПП.

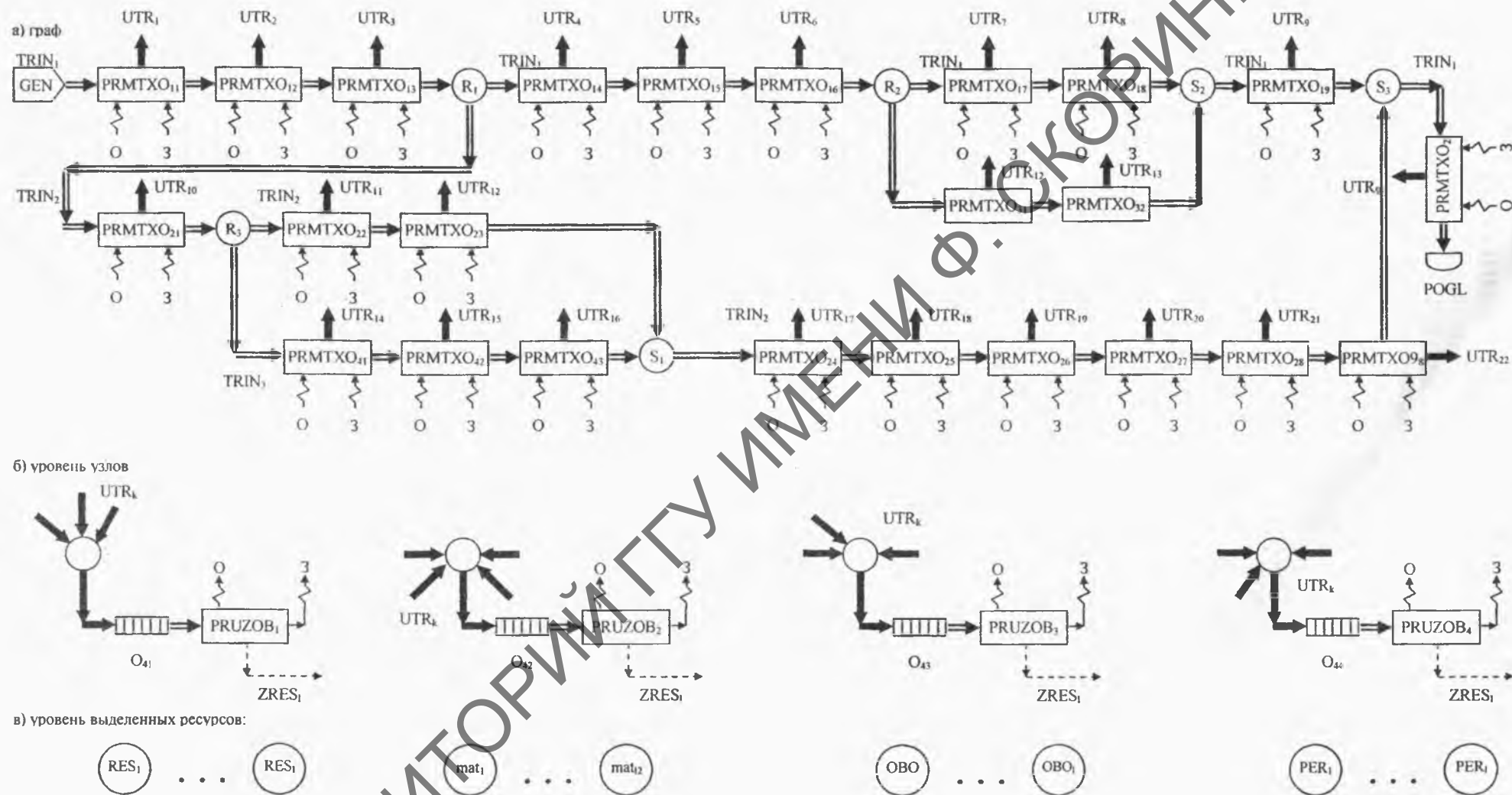


Рис. 1. Пример имитационной модели ТПП с переменным составом.

4. Состав и структура ИМ ТПП

Пример графового представления реализации ТПП запроса m -го типа приведен на рис. 1. В данном случае $GRTXO_i$ имеет детерминированную структуру при вероятностном характере параметров выполнения $MTXO_{ij}$. Операции “расщепление” и “сборки” ветвей TXO_i представлены в виде узлов графа соответственно (R_1, R_2, R_3) и (S_1, S_2, S_3) . Как видно из рис. 1, в ИМ ТПП можно выделить три уровня имитации: графа реализации ТПП (GR ТПП) различными его ветвями ($TXO_i, i = \overline{1,4}$), узлов обработки запросов $MTXO_{ij}$ ($PRUZOB_i$), выделения ресурсов для реализации $MTXO_{ij}$ ($RESI$). На первом уровне имитируется обслуживание транзактов информационных ($TRIN_i, i = \overline{1,4}$) множеством процессов $\{PRMTXO_{ij}\}$. Каждый из процессов $PRMTXO_{ij}$ управляется двумя управляющими сигналами, формируемыми процессами $PRUZOB_i$ соответственно в моменты начала имитации $MTXO_{ij}$ (сигнал “0”) и в момент завершения имитации $MTXO_{ij}$ (сигнал “3”). В момент поступления $TRIN_i$ на входы $PRMTXO_{ij}$ формируются управляющие транзакты (UTR_k) поступающие на одну из очередей (OCH_i) процессов $PRUZOB_i$, имитирующих собственно выполнение $MTXO_{ij}$. При этом $PRUZOB_i$, конкурируя друг с другом, захватывают требуемые ресурсы на время выполнения $MTXO_{ij}$, а по завершении имитации выполнения очередной $MTXO_{ij}$ TRV_k уничтожаются; ресурсы возвращаются системе и формируется сигнал “закрыть” соответствующий процесс $PRMTXO_{ij}$.

Операции “расщепления” ($R_k, k = \overline{1,3}$) генерируют новые информационные транзакты по информации сосредоточенной в TK_i согласно заданной структуры GR ТПП. Операции “сборки” ($S_k, k = \overline{1,3}$) уничтожают те транзакты, которые обслуживались на неосновных ветвях GR ТПП. Отметим также, что одновременно на данной ИМ ТПП может имитироваться реализация нескольких TK_i , причем каждая из них может находиться на своей стадии реализации GR ТПП.

5. Состав статистик и откликов ИМ ТПП

Выделены три группы статистик имитации ТПП: использования рабочих площадей, персонала и ресурсов предприятия; реализации TXO_i в составе ТПП; качества обслуживания технологических карт при заданном составе ресурсов $\{RES_i\}$, существующей структуре площадей и наличного обслуживающего персонала.

В первую группу статистик входят: коэффициенты использования $PRUZOB_i$ (η_{yzo_i}); средние значения длин очередей и времени нахождения в них UTR_i ($l_{och_i}, t_{ожк_i}$), коэффициенты использования оборудования ($\eta_{об_i}$), степень расхода материалов и комплектующих изделий ($\eta_{мт_i}$), коэффициенты использования обслуживающего персонала $\eta_{исл_i}$. Все эти статистики по своей сути являются интегральными характеристиками, и по их значениям вычисляются отклики модели. Произведения статистик очередей ($lt_i = l_{och_i} \cdot t_{ожк_i}$) являются динамическими откликами модели, используемыми для нахождения узких мест в работе предприятия.

Во вторую группу статистик имитации входят длительности реализации: $MTXO_{ij}$ ($\tau_{MTXO_{ij}}$) и TXO_i (τ_{TXO_i}) при наличии их конкуренции за узлы обработки и ресурсы предприятия. По этим статистикам определяются отклики, представляющие собой коэффициенты растяжения времени выполнения ТПП и его составляющих из-за наличия конкуренции $MTXO_{ij}$ за ресурсы предприятия ($\gamma\tau_{MTXO_{ij}}, \gamma\tau_{TXO_i}$) и характеризующие качество реализации всего ТПП и его ветвей (TXO_i).

Статистиками качества обслуживания запросов TR_i в ТПП_s являются времена жизни информационных и управляющих транзактов ($T_{жTR_i}$ и $T_{жUT_k}$). Они включают в себя все времена ожидания в очередях и времена обслуживания $TRIN_i$ всеми $MTXO_{ij}$ от момента их генерации устройством (GEN) до момента уничтожения устройством ($POGL$).

По перечисленным выше интегральным статистикам имитации формируются значения компонент вектора откликов ИМ ТПП. Так, например, по множеству $\{\eta_{y30i}\}$ формируется вектор откликов (Y_{1s}). По множествам характеристик $\{\eta_{0vi}\}$, $\{\eta_{mti}\}$, $\{\eta_{isi}\}$ формируются компоненты вектора использования ресурсов ТПП (Y_{2s}). Множество коэффициентов “растяжения” ТПП $\{\gamma_{\tau \text{ мтх}0ij}, \gamma_{\tau \text{ тх}0i}\}$ образуют вектор качества реализации технологии обработки (Y_{3s}). Наконец, множество средних времен жизни транзактов $\{T_{ж\text{TRI}}\}$ и $\{T_{ж\text{UTk}}\}$ являются компонентами вектора качества организации технологических циклов предприятия (Y_{4s}). Здесь s - означает номер варианта организации технологии обработки на предприятии. Целью оптимизации может быть нахождение такого множества интенсивностей поступления, запросов $\{\lambda_s\}$, которое обеспечит максимизацию обобщенного вектора откликов $Y_s = (Y_{1s}, Y_{2s}, Y_{3s}, Y_{4s})$ при заданном составе ресурсов предприятия, имеющихся рабочих площадей, наличном составе обслуживающего персонала и комплектующих изделий. Как видим, для решения задач проектного моделирования или исследования существующего ТПП необходимо решать задачу векторной оптимизации, когда в цикле оптимизации используется предлагаемая ИМ ТПП.

Abstract

The structure and the set of statistics of a simulation model of technological processes with variable quantity of technological operations are considered.

Литература

1. И.В.Максимей. Имитационное моделирование на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. – 230 с.
2. 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.

Гомельский государственный
университет им. Ф.Скорины

Поступило 7.04.2003