

УДК 681.3

Методика перераспределения ресурсов предприятия при проектном моделировании технологических процессов

О. И. Еськова, Д. Н. Езерский, И. В. Максимей, А. М. Поташенко, Е. И. Сукач

На основе моделирования вероятностных сетевых графиков с помощью процедуры Монте-Карло предлагается методика перераспределения времени выполнения, стоимости и материалов для выполнения микротехнологических операций, обеспечивающая рациональное соотношение суммарного расходов этих ресурсов.

Ключевые слова. Методика, вероятностные сетевые графики, технологический процесс, процедура Монте-Карло, расход ресурсов времени, стоимости, материалов.

Введение. Проектное моделирование технологических процессов предприятий (ТПП) зачастую позволяет определить время реализации ТПП на основе аппарата сетевого планирования. При этом предполагают, что каждая микротехнологическая операция ($MTXO_{ij}$) сетевого графика (СГР) использует постоянные значения ресурсов: времени (τ_{ij}), стоимости (S_{ij}) выполнения и требует для своего выполнения материалов (mt_{ij}). Здесь ij номер $MTXO_{ij}$, означающий, что операция начинается свершением события i и заканчивается событием j . Алгоритм применения СГР [1] требует, чтобы расход этих ресурсов операций представлял собой детерминированные величины.

Чаще всего используют либо средние, либо максимальные значения. В этих случаях с помощью СГР при заданном множестве показателей расхода ресурсов ($\tau_{ij}, S_{ij}, mt_{ij}$) операцией $MTXO_i$ удастся определить: время реализации ТПП ($T_{кр}$), общие расходы основных видов ресурсов предприятия (S_{oh} и mt_{oh}) для h -го варианта структуры сетевого графика. Но в реальной практике проектного моделирования ТП на предприятиях расход его ресурсов чаще всего представляет собой случайную величину. В лучшем случае известны лишь функции распределения расхода соответствующих ресурсов предприятия:

$$F_{1ij}(\tau), F_{2ij}(C); F_{3ij}(mt), \quad (1.1)$$

у которых средние значения и дисперсии этих характеристик известны, а также известен вид законов распределений этих случайных величин. В случае вероятностных значений расхода этих ресурсов при реализации ТПП сетевые графики представляют собой аналитические модели, которые неадекватны реальным ТПП. Поэтому актуальной является проблема решения задач проектного моделирования для тех случаев, когда запросы ресурсов предприятия каждой $MTXO_{ij}$ являются случайными величинами, у которых известны тип и параметры их функций распределения.

Использование вероятностных сетевых графиков при проектном моделировании ТПП. Основная идея предлагаемой методики анализа вероятностных технологических процессов производства (ВТПП) состоит в описании ВТПП последовательностью вероятностных сетевых графиков $ВСГР_l$, $l=1, N$, где N – число реализаций процедуры Монте-Карло [2]; l – номер реализации вероятностного сетевого графика $ВСГР_l$. Для l -ой реализации запросы ресурсов предприятия $MTXO_{ij}$ с помощью жребия 3-го типа [2] разыгрываются либо по функциям распределения (1.1), либо (в случае мультимодальных распределений) непосредственно по эмпирическим функциям распределения, полученным на основе соответствующих гистограмм распределения значений этих параметров по их значениям:

$$(F_{1ij}^*(\tau); F_{2ij}^*(s); F_{3ij}^*(ko)). \quad (1.2)$$

Для l -ой реализации ВСГР превращается в обычный СГР с детерминированными значениями расхода ресурсов предприятия: $(\tau_{ijl}; S_{ijl}, mt_{ijl})$. Теперь уже по этому СГР можно определить отклики l -ой реализации ВСГР: $\{T_{kpl}, S_{ohl}, mt_{ohl}\}$. Согласно процедуре Монте-Карло, после N реализации $\{BCGP_l\}$ ($l = \overline{1, N}$) формируются три типа выборок: $\{\tau_{ijl}\}$, $\{S_{ohl}\}$, $\{mt_{ohl}\}$ объема N . По этим выборкам формируются средние значения и выборочные дисперсии этих откликов: $(\bar{\tau}_{ij}, \bar{S}_{oh}, \bar{mt}_{oh})$ и $(D\tau_{okp}, DS_{oh}, Dmt_{oh})$. Зная оценки среднего значения и выборочной дисперсии по известным формулам [4] – легко определить точность вычисления откликов $BCGP_l$. При этом по выборкам этих откликов стандартным образом формируются графики изменения во времени интегральных откликов имитации $BCGP_l$ (gFS_{oh} и $gFmt_{oh}$).

Для l -ой реализации формулы расчета параметров сетевого графика при фиксированных значениях [1] позволяют получить множества ранних и поздних сроков, а также резервов свершения событий свершения событий $(\{t_{pil}, t_{lil}, R_{il}\}, \bar{a} \bar{a} R_{il} = t_{lil} - t_{pil})$. Узкими местами в реализации $BCGP_l$ являются множества $MTXO_{ij}$, лежащих на критическом пути (всех $MTXO_{ij}$, которые активизируются событиями SOB_i и завершаются событиями SOB_j для которых $R_i = R_j = 0$). Таким образом в результате l -х реализаций формируется множество критических путей $\{GRP_l\}$. После N реализаций $BCGP_l$ по этому множеству формируется граф критических путей $GRCRP$. В этом графе определяется: наиболее вероятный CRP_v , минимальный критический путь CRP_{min} , максимальный из критических путей CRP_{max} . Для этих трех типов критических путей ВСГР определяются пары статистик (вероятности появления критических ситуаций P_f и времени реализации T_{kfl} , f – номер ситуации).

Отметим, что идея превращения ВСГР с помощью процедуры Монте-Карло в последовательность его реализаций $\{BCGP_l\}$ $l = \overline{1, N}$, элементы которой являются критическими путями при детерминированных значениях расходов ресурсов $(\tau_{ijl}, S_{ijl}, mt_{ijl})$ использовалась при создании имитационных моделей ТПП [3]. Использование динамических моделей ТПП в виде $\{BCGP_l\}$ предложено авторами ранее в работах [4, 5].

Анализ графиков использования во времени ресурсов предприятия. После построения с помощью ВСГР расхода во времени ресурсов предприятия gFS_{oh} и $gFmt_{oh}$ предлагается приступить к анализу динамики расхода финансов и материалов для реализации ВСГР. По оси абсцисс изменяется время реализации $ВГПП$ (t_0). Точками на оси ординат будут средние значения времена свершения событий (\bar{t}_{pi}) , а ординатами будут соответственно значения суммарных расходов финансов (S_{oh}) и материалов (mt_{oh}) предприятия на моменты \bar{t}_{pi} . Анализ этих графиков и ортогональной формы каждого $BCGP_l$ позволяет определить подмножество тех операций $\{MTXO_{ks}\}$, которые либо представляют собой наиболее критический путь, либо имеют нулевые резервы времени их выполнения. Из этого подмножества формируется наиболее вероятный критический путь, а также можно выявить то подмножество операций $\{MTXO_{mn}\}$, у которых можно менять запросы ресурсов $(\tau_{mn}, S_{mn}, mt_{mn})$ для решения двух задач: перераспределения запросов ресурсов $ВГПП$ операциями для уменьшения критического времени выполнения $BCGP$ (T_{kh}) с не критических путей на критический путь (задача 1); получения экономии общей стоимости (S_{oh}) или экономии расхода материалов (mt_{oh}) за счет изъятия ресурсов у тех $MTXO_{mn}$, которые имеют резерв времени выполнения R_{mn} для случая, когда для h -го варианта $ВГПП$ $T_{kh} \leq T_{k\bar{c}}$, где $T_{k\bar{c}}$ – допустимые время реализации $BCGP$ (задача 2).

Для решения обеих задач используются следующие регрессионные зависимости изменения времени реализации операции при вариациях их стоимости и запросов материалов ВТПП:

$$\begin{aligned}\Delta\tau_{ijl} &= \alpha_{1ij}\Delta C_{ijl}; \\ \Delta\tau_{ijl} &= \alpha_{2ij}\Delta mt_{ijl}.\end{aligned}\quad (1.3)$$

Линейный характер регрессий (1.3), являющихся первым приближением к истинной зависимости между временем выполнения $MTXO_{ij}$ и другими ресурсами предприятия, может быть заменен другой зависимостью. Единственным ограничением метода является взаимная обратимость времени в другие значения ресурсов и одинаковый характер увеличения или изменения ресурсов предприятия. С помощью ВСГР предлагается осуществлять три вида планирования выполнения $\{MTXO_{ij}\}$: 1) по времени, когда основным является критическое время выполнения h -го варианта ВТПП (T_{kh}); 2) по стоимости (когда основным является критическая стоимость реализации процесса (S_{kn})); 3) по постановкам материалов (когда основным является критическое количество материалов (mt_{kn})).

Для каждого вида планирования ВТПП используется свой вероятностный сетевой график. В первом случае синхронизация $\{MTXO_{ij}\}$ осуществляется по времени выполнения ВТПП (t_0). Для каждого события SOB_i определяется тройка статистик его свершения ($t_{pi}, t_{\Gamma i}, R_i = t_{\Gamma i} - t_{pi}$), которые ранее были определены в [1]. Во втором случае синхронизация $\{MTXO_{ij}\}$ осуществляется по стоимости выполнения ВТПП (S_0). Каждому событию SOB_j также соответствует своя тройка статистики, являющихся аналогами временных статистик ($S'_{pj}, S'_{\Gamma j}, R'_j = S'_{\Gamma j} - S'_{pj}$). Здесь S'_{pj} и $S'_{\Gamma j}$ - соответственно минимально необходимые финансы и максимальное значение средств для того, чтобы финансово были осуществлены операции, соответствующие j -му событию на ВСГР расхода финансов при реализации $\{MTXO_{ij}\}$. В третьем случае синхронизация $\{MTXO_{ij}\}$ осуществляется по координате расхода материалов при реализации ВТПП (mt_0). Аналогичным образом событиям SOB_k соответствует аналогичная тройка статистик, являющихся аналогами временных и стоимостных статистик ($mt_{pk}, mt_{\Gamma k}, R''_k = mt_{\Gamma k} - mt_{pk}$). Каждый тип сетевого графика исследуется аналогично анализу параметров ВСГР путем замены его последовательностью $\{CGP_l\} l = \overline{1, N}$, где N – число реализаций процедуры Монте-Карло. Аналогичным образом решаются три типа задач анализа ВТПП: оценка критического значения; перераспределения запросов ресурсов предприятия от $\{MTXO_{ij}\}$ с целью уменьшения критического значения ВТПП; экономии ресурсов предприятия за счет уменьшения запросов ресурсов теми $MTXO_{ij}$, которые не находятся на критическом пути и имеется запас критического значения отклика.

Таким образом, методика перераспределения ресурсов предприятия при проектном моделировании технологических процессов производства реализуется следующей последовательностью этапов:

- 1 составление технологической схемы исследуемого процесса производства;
- 2 формирование базы данных модели, содержащей функции распределения параметров моделирования;
- 3 перевод технологической схемы в программу анализа параметров сетевого графика;
- 4 установление числа реализаций процедуры Монте-Карло и формирование базы данных для хранения статистики моделирования ТПП;
- 5 задание состава параметров ВСГР и определение плана изменения параметров для получения характеристик качества реализации технологического процесса;
- 6 определение статистик и откликов имитации для основного режима функционирования ВСГР;

7 проведение N реализаций ВСГР и определение статистик имитации: множество сроков свершения событий $\{t_{pil}, t_{\Pi il}, R_{il}\}$;

8 обработка статистики свершения событий по всем N реализуем. Нахождение множества $\{(\bar{t}_{pi}, \bar{t}_{\Pi i}, \bar{R}_i)\}$ и построение графа критических путей GRKRP;

9 определение откликов основного варианта ВСГР:

$$\bar{T}_{kph}, KPI_h;$$

10 определение $\bar{T}_{kp} \leq T_{kpy}$, где T_{kpy} – экспертное значение времени свершения событий в ВСГР;

11 когда не выполняется это условие решается задача перераспределения использования операции ресурсов предприятия. Если же неравенство это удовлетворяется, что решается задача экономии ресурсов за счет увеличения времени выполнения операций при изъятии у операций частично финансов и частично материалов;

12 в первом случае решается задача переброски финансов и материалов с операций, не лежащих на критическом пути, на операции, лежащие на критическом пути. Как видим, методика предполагает перевод полигональной формы сетевого графика распределения финансов в ортогональную форму. Далее с помощью ортогональных форм сетевых графиков расхода финансов и расхода материалов формируются соответственно план обеспечения технологического процесса финансами и план обеспечения ТПП материалами. Отметим, что в общих случаях при построении ортогональных форм сетевых графиков изменения стоимости и материалов используются статистики расхода ресурсов, усредненные с помощью процедуры Монте-Карло [2].

Во втором случае, ресурсы изымаются и за счет этого появляется экономия финансовых средств и материалов при решении задачи экономии ресурсов предприятия.

Abstract. Methods of redistribution of time execution, cost of materials for micro-technological operations fulfillment on the base of stochastic net graphs modeling with the help of the Monte-Carlo procedure are offered in the paper. They ensure a rational proportion of total expenses of the resources.

Литература

1. Задачи и модели исследования операций. Ч.1. Аналитические модели исследования операций: уч. пособ. / С.П. Жогаль, И.В. Маскимей, под общ. ред. И.В. Максимей. В 3-х частях.–Гомель, БелГУТ, 1999.–109 с.
2. Задачи и модели исследования операций. Ч. 2. Модели нелинейного и стохастического программирования: уч. пособ./ И.В. Максимей, В.С. Серегина, под общ. Ред. И.В. Максимей в 3-х частях.–Гомель, БелГУТ, 1994.–103 с.
3. Максимей, И.В. Методика исследования вероятностных технологических процессов производства с помощью агрегатного способа имитации / И.В. Максимей, В.С. Смородин, Е.И. Сукач // Управляющие системы и машины. К, 2006.–№2–1.С. 35-42.
4. Поташенко, А.М. Об одной методике постановки имитационных экспериментов при оценке пропускной способности технологических процессов производства / А.М. Поташенко // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. Гомель.–2003.№ 3(18). С.64-67.
5. Максимей, И.В. Методика анализа и прогноза на имитационной модели характеристик надежности реализации вероятностных технологических процессов производства / И.В. Максимей, В. С. Смородин, А.М. Поташенко, Е.О. Попова // Реєстрація, зберігання і обробка даних. К. 2003.т. 5. №4. С.3-10.