ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРАВИЛ ПРИОРИТЕТА НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЦЕХА СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ю. Я. Тарнопольский

Харьков

В последнее время все большее значение придается методам исследования сложных производственных систем с помощью адекватных ста-

тистических моделей. Математико-статистическая имитационная модель наиболее приспособлена для такого рода исследований, поскольку сложность связей и большое число существенных случайных факторов, случайных погрешностей и помех не дают возможности эффективно использовать аналитические модели.

Особый интерес представляет разработка статистических моделей для мелкосерийного и серийного типа производств, имеющих более сложные взаимосвязи между отдельными элементами. В них циркулирует бо́льшее количество не поддающейся обобщению информации и имеют место значительные случайные возмущения, нарушающие ход производства.

Функционирование производственных систем серийного и мелкосерийного типов имеет много общих черт, поскольку их основной задачей является обеспечение наиболее эффективного использования (с учетом многих ограничений) универсального станочного оборудования для планового выпуска продукции. В отличие от предприятий массового производства, имеющих стабильную номенклатуру изделий и специализированное оборудование для их выпуска, эти предприятия не имеют постоянной номенклатуры, выпускают продукцию партиями различного размера и оснащены в основном универсальным и уникальным оборудованием.

Построение статистической модели цеха серийного производства представляет интерес с точки зрения изучения различных характеристик его работы, в частности методов управления таким цехом. В качестве объекта для построения статистической модели послужил цех серийного производства штучных изделий, имеющий j групп оборудования, каждая из которых включает m_j однотипных рабочих мест. За планируемый промежуток времени через цех проходит i партий деталей по n_i деталей в каждой. На основе формализации процессов производства и управления разработана структура модели, включающая наиболее существенные факторы, которые влияют на работу цеха. Модель цеха представлена как многофазная система обслуживания. Помимо подготовительных блоков, имитирующих работу диспетчерских служб цеха, она включает j параллельных групп блоков, представляющих собой многоканальную систему обслуживания, состоящую из m_j однотипных станков и очереди деталей, ожидающих обработки на этих станках. В каждую из таких групп включены блоки, имитирующие распределительную работу мастера, подсчитывающие простои оборудования и пролеживания партий деталей.

Дисциплина очередей формулируется с помощью рандомизированного правила предпочтения, согласно которому стоящие в очереди детали ставятся на обработку с частотой, пропорциональной функции предпочтения $F(P_i)$. В качестве функции предпочтения выбрана величина, обратно пропорциональная позиционному рангу детали P_i, характеризующему величину запаса времени для окончания обработки детали к заданному сроку.

Не останавливаясь на описании модели [1], рассмотрим операторную схему алгоритма моделирующего работу цеха, который в ряде деталей отличается от схемы, приведенной в [1]. Операторная схема реализует известный принцип моделирования по Δt. Движение деталей и их «обработку» в моделирующем алгоритме имитирует движение и соответствующее преобразование сопровождающей информации о детали. Сопровождающая информация должна содержать минимально необходимое для опознания и преобразования число параметров. В приведенном алгоритме вся сопровождающая информация о детали помещается каж-

дый раз в одну ячейку, что значительно экономит оперативную память и машинное время ЭВМ.

Алгоритм работает со следующими массивами сопровождающей информации о деталях:

M_2 — массив информации о технологически возможных в данный момент модельного времени t операциях;

M_2^j — часть массива M_2, выделенная как очередь информации к j-й группе оборудования;

M_3 — массив информации о законченных операциях;

M_4 — массив информации о заготовках, обрабатываемых в данный момент t на станках;

M_4^j — часть массива M_4, выделенная для j-й группы оборудования;

M_5 — массив информации о свободных рабочих местах;

M_5^j — часть массива M_5, относящаяся к j-й группе оборудования.

Несколько отличную структуру имеет M_1 — массив информации о поступивших на обработку партиях заготовок. Он включает для каждой партии номер ее N_i, количество операций, необходимых для обработки каждой детали партии m_i, количество деталей в партии n_i, директивный срок изготовления данной партии T_i, а для каждой операции в порядке следования — тип оборудования l_j и время обработки T_{ij}^k.

В операторной схеме использованы следующие операторы:

A_1 — ввод информации о массиве M_1;

A_2 — выделение информации, относящейся к массиву M_2;

A_3 — формирование подмассивов M_2^j из массива M_2;

A_4 — вычисление приоритетов P_i для массива M_2;

A_5 — просмотр массива M_4 и формирование массивов M_5^j;

$Ц_6(j)$ — начало цикла по количеству групп оборудования j;

$Ц_7[N(M_5^j)]$ — начало цикла по количеству свободных станков в j-й группе оборудования ($N(M)$ обозначает число ячеек информации в массиве M);

A_8 — выработка случайного числа ξ_i, запоминание первого случайного числа;

A_9 — определение интервала $I_i \in (0, 1)$ по ξ_i, запоминание I_i;

P_{10} — проверка условия $I_i = I_{i'} (i' = 1,2,\ldots, i-1)$;

A_{11} — определение с помощью I_i сопровождающей информации для передачи в массив M_5^j, суммирование по партиям заготовок пролеживаний отдельных операций;

A_{12} — запоминание сопровождающей информации о заготовке в подмассиве M_5^j, исключение ее из подмассива M_2^j;

$Ц_{13}^*[N(M_5^j)]$ — конец цикла по $N(M_5^j)$;

$Ц_{14}^*(j)$ — конец цикла по количеству групп оборудования j;

A_{15} — формирование очередного момента времени $t_m = t_{m-1} + \Delta t$.

Вычисление для каждого элемента массива M_4:

$$\langle T_{ij}^k \rangle - \Delta t \Rightarrow \langle T_{ij}^k \rangle.$$

Здесь $\langle \overline{T}_{ij}^k \rangle$ — часть содержимого ячейки γ, включающей время, оставшееся до конца обработки;

$Ц_{16}\langle j \rangle$ — начало цикла по j;

$Ц_{17}[N(M_4^j)]$ — начало цикла по $N(M_4^j)$;

P_{18} — проверка условия $\langle \gamma \rangle < 0$, $\gamma \in M_4^j$;

F_{19} — счетчик простоев $\Pi_j = \sum_{M_s} \Delta t$;

P_{20} — проверка условия $\langle \overline{T}_{ij}^k \rangle = 0$, $\langle \overline{T}_{ij}^k \rangle \in M_4^j$;

F_{24} — приформирование к ⟨γ⟩ времени завершения операции $\bar{t}^{к}_{ij} = t_m$ и запоминание ⟨γ⟩ в массиве M_3;

A_{22} — счетчик обращений к оператору $K_i = K_{i-1} + 1 (i = 1, 2, \ldots; K_0 = 1)$;

$Ц^{*}_{23}[N(M^i_4)]$ — конец цикла по $N(M^i_4)$;

$Ц^{*}_{24}(j)$ — конец цикла по j;

P_{25} — проверка условия $K_i = N(M_4)$;

$Ц_{26}[N(M_3)]$ — начало цикла по $N(M_3)$;

P_{27} — проверка условия $m^i_к = m_i$;

A_{28} — счетчики обработанных деталей по партиям

$$n^i_l = n^i_{l-1} + 1 \qquad (l = 1,2,\ldots;\ n^i_0 = 0);$$

P_{29} — проверка условия $n^i_l = n_i$;

F_{30} — запоминание времени окончания обработки партии заготовок; счетчик обработанных партий $N_i = N_{i-1} + 1$;

A_{31} — приформирование $m^i_к + 1$ к ячейке γ и посылка в массив M_2;

$Ц^{*}_{32}[N(M_3)]$ — конец цикла по $N(M_3)$;

P_{33} — проверка условия $N_i = N$;

A_{34} — запоминание общего времени обработки всех партий;

A_{35} — нахождение суммарных величин пролеживания по партиям деталей и простоев по группам оборудования. Вычисление среднеквадратичных уклонений от сроков T_i;

P_{36} — печать результатов моделирования;

A_{37} — счетчик количества реализаций $r_i = r_{i-1} + 1$ $(i = 1.2\ldots;\ r_0 = 0)$;

P_{38} — проверка условия $r_i = r^*$, где r^* — заданное количество реализаций;

A_{39} — обработка результатов моделирования;

$Я_{40}$ — остановка.

Операторная запись алгоритма имеет следующий вид:

$$A_1^{38}A_2^{33}A_3A_4A_5Ц_6(j)Ц_7[N(M^i_5)]^{10}A_8A_9P_{10}^{\cdot\,18}A_{11}A_{12}Ц^{*}_{13}[N(M^i_5)]Ц^{*}_{14}(j)^{25}A_{15}Ц_{16}(j)$$
$$Ц_{17}[N(M^i_4)]P_{18\,;\,20}F_{19}^{23\,18}P_{20\,;\,22}F_{21}^{23\,20}A_{22}^{19,\,21}Ц^{*}_{23}[N(M^i_4)]Ц^{*}_{24}(j)P_{25}^{\uparrow\,15}Ц_{26}[N(M_3)]$$
$$P_{27\,;\,31}A_{28}P_{29\,;\,32}F_{30}^{3127}A_{31}^{29,\,30}Ц^{*}_{32}[N(M_3)]P_{33\,;\,3}A_{34}A_{35}P_{36}A_{37}P_{38\,;\,2}A_{39}Я_{40}.$$

На основании операторной записи алгоритма статистического моделирования цеха серийного производства разработана универсальная программа для ЭВМ «Урал-4», реализующая все описанные свойства алгоритма *. Программа позволяет изучать функционирование цеха, насчитывающего до пятнадцати различных групп оборудования, каждая из которых может состоять из десяти станков. Программа одновременно может обрабатывать информацию о двадцати партиях, содержащих до тридцати заготовок деталей. Каждая из последних может подвергаться 99 операциям обработки на станках.

С помощью программы были исследованы возможности моделирующего алгоритма для разрешения конфликтных ситуаций при назначении деталей на обработку с целью получения наименьшего общего времени изготовления всех партий. Для сохранения общности полученных результатов эксперименты проводились с помощью тестовой задачи календарного планирования, приведенной в работе [2] (см. таблицу), в которой шесть деталей с шестью технологическими операциями должны быть обработаны на шести станках. При этом введено ограничение, заключающееся в том, что для каждой детали на каждом станке выполняется только одна операция. Особенностью построения этой задачи является

* Программа для ЭВМ «Урал-4» составлена А. С. Воронежским.

то, что все величины в исходной таблице (время операции и технологический порядок операций) получены путем случайного отбора из равномерно распределенной последовательности цифр. Введение случайности при выборе исходных данных тестовой задачи дает возможность до известной степени расширить полученные с помощью моделирования результаты на задачи большего объема. Это обеспечивалось тем, что при установлении случайной технологической последовательности обработки деталей на станках были введены дополнительные ограничения, типичные для механообрабатывающих цехов, в которых отдельные виды оборудования тяготеют к тому или иному этапу технологического процесса. Для этого в модели выдерживалась тенденция к выполнению начальных операций на станках с малыми номерами и более поздних операций на станках с большими номерами.

Программа для ЭВМ, моделирующая работу цеха, позволяет получить многократное повторение отдельных реализаций моделирования с целью накопления некоторой статистики. В результате работы программы печатаются следующие выходные данные для каждой реализации моделирования работы цеха: исходное случайное число, время окончания обработки каждой партии деталей, суммарные простои станков для каждой группы оборудования, суммарные пролеживания деталей для каждой партии, а также все необходимые параметры для построения графика загрузки станков.

Номер детали	Матрица последовательности станков*					
1	3 (1)	1 (3)	2 (6)	4 (7)	6 (3)	5 (6)
2	2 (8)	3 (5)	5 (10)	6 (10)	1 (10)	4 (4)
3	3 (5)	4 (4)	6 (8)	1 (9)	2 (1)	5 (7)
4	2 (5)	1 (5)	3 (5)	4 (3)	5 (8)	6 (9)
5	3 (9)	2 (3)	5 (5)	6 (4)	1 (3)	4 (1)
6	2 (3)	4 (3)	6 (9)	1 (10)	5 (4)	3 (1)

* В скобках указано время выполнения операции.

Как уже упоминалось, для разрешения конфликтных ситуаций в модели использован управляющий блок, в котором применено рандомизированное правило предпочтения, а в качестве функции предпочтения выбрана величина обратно пропорциональная позиционному рангу детали. Воздействие на управляющий блок модели в этом случае осуществляется с помощью выбора директивных сроков окончания обработки T_i каждой партии деталей. Если выбрать $T_i = 0$, то вычисление позиционного ранга детали даст $P_i = 0$ (в программе $P_i = 0$ заменяется в этом случае на $P_i = 0{,}001$ для продолжения вычислений). Последнее приводит к тому, что каждая деталь имеет равные возможности попасть на обработку при разрешении конфликтных ситуаций, а это значит, что в результате моделирования могут быть получены с равной вероятностью планы любой продолжительности в пределах комбинаторных возможностей задачи, составляющих $(n!)^m = (6!)^6 = 1{,}6 \cdot 10^{17}$ календарных планов.

Назначение произвольных сроков окончания обработки партий деталей вызывает (это было проверено на модели), как правило, удлинение общего времени обработки всех партий деталей.

В проведенных экспериментах со статистической моделью цеха лучшие результаты при минимизации общего времени обработки T_0 по-

лучены, когда T_i назначалось с помощью линейной зависимости

$$T_i = a_i T_{0i} + b_i,$$

где

$$T_{0i} = \sum_{k=1}^{m_k^i} \sum_{l=1}^{n_i} T_{ij}^k,$$

a_i, b_i — постоянные, определяемые для каждой партии из условия

$$a_i', \; b_i' > a_i, b_i, \text{ если } T_{0i}' > T_{0i}.$$

Смысл такого назначения сроков обработки партий заключается в том, что партии с меньшим общим временем обработки T_0 имеют преимущество при разрешении конфликтных ситуаций перед остальными

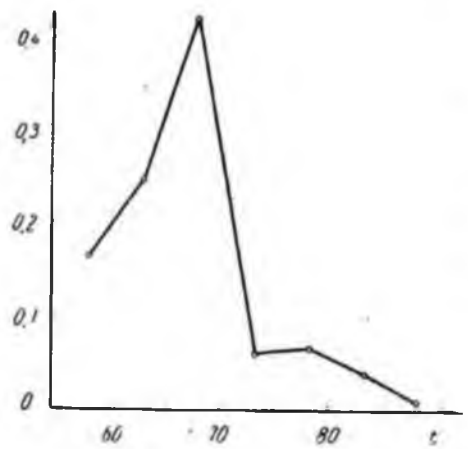

Рис. 1.

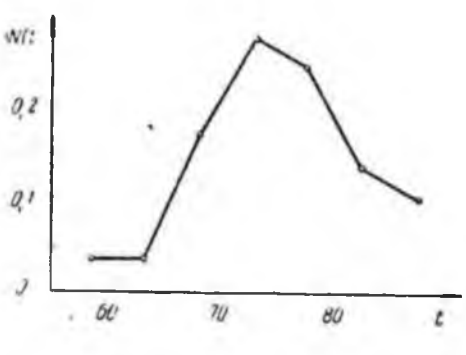

Рис. 2.

партиями. Операции обработки таких партий в основном более короткие, этим обеспечивается более быстрая загрузка всех станков и, что равносильно, меньшие простои оборудования в начальный период работы модели. В более поздний период модельного времени воздействие управляющего блока проявляется в том, что детали отстающих партий обрабатываются в первую очередь. Таким образом, предложенный метод выбора сроков обработки партий деталей дает возможность использовать преимущества правила предпочтения по «кратчайшей операции» деталей в начальный период работы модели цеха [2, 3] и, одновременно, преимущества правила предпочтения по «позиционному рангу» деталей.

Для описанной тестовой задачи в каждой партии находилась всего одна деталь. Общие времена обработки каждой партии $T_{01}(1 \leqslant i \leqslant 6)$ составляли соответственно 26, 47, 34, 35, 25, 30 единиц времени. Сроки обработки были определены по приведенной выше формуле, причем для партий с меньшими значениями T_{01} принято $b_5=2$, $b_1=3$, $b_6=3$, а для партий с большими значениями T_{01} — $b_3=5$, $b_4=6$, $b_2=6$; a_i $(i=1, 2,...,6)$ всюду принималось равным единице. Таким образом, определены сроки выполнения отдельных партий деталей: 29, 53, 39, 41, 27, 33.

На рис. 1 приведен полученный на основании 267 отдельных реализаций моделирования полигон распределения общего времени обработки всех партий деталей при указанном задании сроков окончания отдельных партий. Одна реализация моделирования составляла ~ 100 *сек* на ЭВМ «Урал-4». На основании исследования тестовой задачи получена

гистограмма распределения длительностей для выборки в 1214 действительных календарных планов, для которой мода распределения приходится на длительность 90. По сравнению с этой гистограммой, максимум распределения, приведенного на рис. 1, значительно сдвинут влево, что указывает на эффективность применяемого правила предпочтения.

При моделировании из 267 планов получено 6 различных планов с наименьшим общим временем обработки всех партий $T_0=58$. Следует заметить, что для рассматриваемой задачи глобальный минимум [2] составляет $T_0=55$.

На рис. 2 приведен полигон распределения T_0 при произвольном назначении сроков выполнения отдельных партий, построенный на основании 68 отдельных реализаций моделирования. Из рис. 2 видно, что частость получения планов большей длительности возросла по сравнению с распределением, приведенным на рис. 1.

Рассмотренная модель может быть использована для изучения других способов управления цехом серийного производства штучных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Я. Тарнопольский, Л. И. Белых. Статистическая модель цеха участка единичного и мелкосерийного типа производства. Сб. «Алгоритмы и программы случайного поиска». Рига, Изд-во «Зинатне», 1969.

2. Фишер Г., Томпсон Г. Л. Комбинации локальных правил календарного планирования применительно к самонастраивающимся на вероятностной основе программам для электронно-вычислительной машины. Сб. «Календарное планирование». Изд-во «Прогресс», 1966.

3. Гиффлер Б., Томпсон Д., Ван-Нессе В. Опыт вычислений с применением линейного алгоритма и алгоритма М.—К. для решения задач календарного планирования на производстве. Сб. «Календарное планирование». Изд-во «Прогресс», 1966.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАЛАДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЛОКА МОЩНОСТЬЮ 200 *МВТ* ПРИ ПОМОЩИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

М. А. Дуэль, А. Х. Горелик, А. Ю. Гопп, Г. П. Комаров

Харьков

На блоке «котел ТП-100—турбина К-200-130» мощностью 200 *Мвт* Змиевской ГРЭС установлена разработанная и изготовленная ЦНИИКА система комплексной автоматизации типа «Комплекс» [1] с применением управляющей вычислительной машины (УВМ).

С помощью УВМ осуществляется непосредственное цифровое автоматическое регулирование 17 контуров регулирования основных технологических параметров блока: температуры первичного и вторичного пара за котлом, температуры пара за ширмами, давления пара и расхода воздуха при работе блока на газе и угле и разрежения в топке. Регуляторы температуры пара длительное время находились в непрерывной эксплуатации. Регуляторы процесса горения были налажены и опробованы при работе блока на газе, а в настоящее время производится их наладка при работе на угле. В связи с этим в статье рассматривается только работа регулятора температуры пара, по которым уже имеется некоторый опыт эксплуатации.