

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 519.876

С.Я. Фомин

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ВЫБОРА ОПЕРАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В АСУ ПРОИЗВОДСТВОМ

Диалоговая процедура прогноза последствий реализации и выбора оптимальных оперативных решений по регулированию хода производственного процесса

В системе оперативного регулирования задача прогноза реализации конкретных управляющих воздействий, их влияние на ход и результаты производственного процесса является одной из центральных. В настоящее время имеются мощные программные средства имитации поведения сложных многопродуктовых многооперационных производственных комплексов – интегрированные системы имитационного моделирования (Arena, Anylogic, GPSS World), содержащие интерфейс непрограммирующего пользователя. Указанные имитационные среды не требуют программирования в виде последовательности команд. Вместо написания программы пользователи заполняют специальные формы, составляют модель из библиотечных модулей. В частности программа Arena обладает широкими функциональными возможностями по адаптации к различным предметным областям, снабжена удобным объектно-ориентированным интерфейсом, проста в использовании [1]. В ней продуктивно соединены интерфейсные характеристики среды Microsoft Windows, простота иерархического построения и настройки параметров модели на реальный объект. Терминология, используемая в среде моделирования Arena, незначительно отличается от принятой в теории массового обслуживания («транзакт», «блок», «сущность»).

Под понятием «транзакт» подразумевается то, что подлежит обслуживанию (заявка, деталь, слиток, пакет труб). Понятие «блок» – графическое представление действия над транзактами. «Процесс» – блок, производящий различные действия с транзактами (прокатка, термообработка, травление и т.п.). «Ресурс» – понятие, обозначающее ограничения, накладываемые на прохождение транзактов через процесс (аналог обслуживающих приборов в теории массового обслуживания). «Тип сущности» – понятие, обозначающее тип транзакта. «Поступление» – момент времени создания новых транзактов (например, момент объединения группы транзактов

в один транзакт при комплектации группы заказов в один транзакт – вагон конкретного направления поставки).

Основные блоки Arena позволяют моделировать значительное множество реальных производственных систем. Отметим функциональные возможности основных блоков [1].

Блок Create (создание транзакта) генерирует транзакты и вводит их в систему обслуживания.

Блок Dispose (утилизация транзакта) выводит транзакты из модели. Данные выводимых транзактов передаются в статистику для формирования отчетов (уровни загрузки агрегатов на разных операциях, динамику очередей транзактов и простоев агрегатов и т.п.).

Блок Process (действие над транзактом) реализует следующие действия: задержка транзакта на некоторый интервал времени (длительность разлива ковша металла в зависимости от сечения кристаллизатора и т.п.), захват транзактом ресурсов (работа завалочной машины и т.п.), освобождение транзактом ресурсов (освобождение завалочной машины при завершении текущей операции).

Блок Decide (ветвление) направляет поступивший транзакт в одну из возможных ветвей (например после протяжки пакета труб он может быть направлен по результатам проверки некоторых условий в один из свободных агрегатов термообработки).

Блок Watch (группировка) объединяет группу стоящих в очереди транзактов в один транзакт в соответствии с некоторыми правилами объединения (например, временное объединение перед операцией травления нескольких пакетов труб различных профилирумеров в один пакет с сохранением всей информации об исходных транзактах с последующим ее восстановлением при разделении группы).

Блок Separate (разделение) разделяет один транзакт на несколько в соответствии с принятыми правилами. Например, разделение партии промежуточного профилирумера металлопродукции после завершения текущей промежуточной операции («подкат», например) на несколько партий в соответствии с конкретными технологическими маршрутами последующего изготовления продукции.

Блок Assign (назначить) изменяет глобальные переменные и параметры транзакта в соответствии с по-

требностями пользователя, определяемыми конкретной спецификой задач оперативного управления.

Блок Record (запись) предназначен для сбора статистической информации: о числе прохождения транзакций («деталей») через блок, об интервалах времени между прохождениями и т.п.

Задача выбора оптимальных решений по ОРП по своей природе является многоаспектной, многоцелевой. Анализ практической деятельности ЛПР, осуществляющих этот выбор, позволил в качестве наиболее характерных критериев выделить следующие:

– отставание от плана выпуска изделий (по видам заказов):

$$K_1 = \sum_{j=1}^{n_a} \sum_{l=1}^{n_{jl}^i} \delta(i, h_{jl}, v_{jl}^{пл} - v_{jl}^{сд}) \rightarrow \min; \quad (1)$$

– средний объем готовой продукции на складе:

$$K_2 = \frac{1}{T_k - T} \sum_m v_m^{скл} (t_m - t_{m-1}) \rightarrow \min; \quad (2)$$

– средний объем незавершенного производства:

$$K_3 = \frac{1}{T_k - T} \sum_m \sum_{q=1}^{n_a} v_{mq}^{нп} (t_m - t_{m-1}) \rightarrow \min; \quad (3)$$

– длительность простоев:

$$K_4 = \sum_{j=1}^{n_a} \sum_{r=1}^{n_p^j} T_{rj}^{np} \rightarrow \min, \quad (4)$$

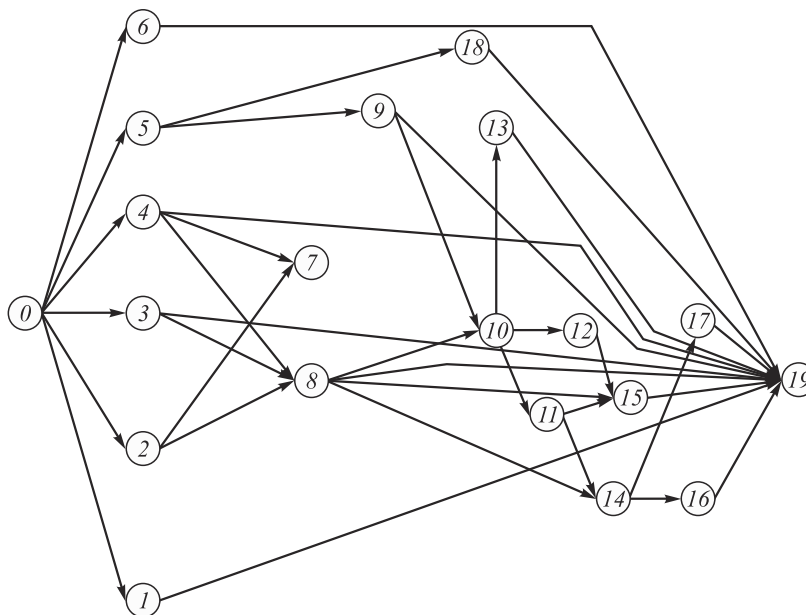
где i – вид заказа; j – номер головного агрегата (ГА); $n_{га}$ – число ГА, l – номер позиции плана; n_{il}^j – число пози-

ций в плане для j -го ГА; h_{jl} – вид заказа для l -й позиции плана j -го ГА; $v_{jl}^{пл}$ – плановый выпуск по l -ой позиции плана j -го ГА; $v_{jl}^{сд}$ – фактическая сдача продукции по l -ой позиции плана j -го ГА; $\delta(i, h, v) = \begin{cases} v, & \text{если } h = i \text{ и } v > 0 \\ 0, & \text{в ином случае;} \end{cases}$

T, T_k – текущий и конечный моменты времени интервала регулирования соответственно; t_m – m -ый момент смены состояния системы; $v_m^{скл}$ – объем готовой продукции на складе в момент t_m ; q – номер агрегата; n_a – число агрегатов; $v_{mq}^{нп}$ – объем продукции, ожидающей обработки на q -м агрегате в момент t_m (НП – незавершенное производство); r – номер ГА; T_{rj} – длительность r -го простоя j -го ГА; n_p^j – число простоев j -го ГА.

На этапе многокритериального выбора управляющего воздействия разрешения конфликтных ситуаций использован программный модуль интервального оценивания замещений критериев (ИОЗ). Основным функциональным достоинством метода ИОЗ является адекватность диалоговой процедуры возможностям реального пользователя (ЛПР оперативного уровня), не имеющего специальной подготовки по теории выбора [2]. В результате синтеза программного модуля метода ИОЗ и имитационной модели, реализованной в среде Arena, разработан инструментальный программный комплекс поддержки выработки оперативных решений в АСУ производством.

Рассмотрим пример реализации диалоговой процедуры разрешения конфликтных ситуаций в системе оперативного управления производством в трубосварочном цехе. Структура металлопотоков цеха представлена в виде графа на рисунке. Вершины графа соответствуют технологическим агрегатам, дуги – технологическим



Пример структуры металлопотоков трубного цеха:

0 – склад заготовок; 1 – 6 – трубосварочные станы; 7 – заковочный агрегат; 8, 9 – термические печи; 10 – отделение химической обработки; 11, 12 – протяжные станы; 13 – линия отделки труб; 14, 15 – правильные станы; 16 – 18 – трубообрезные станки; 19 – склад готовой продукции (отдел технического контроля ОТК)

операциям. Последовательность технологических операций составляет технологический маршрут: «сварка – ОТК (трубы прямоугольные)», «сварка – термообработка – правка – ОТК (трубы с термообработкой)» и т.п. Исходный трехсуточный план-график загрузки станом представлен в табл. 1.

Сложившаяся в цехе исходная ситуация характеризуется некомплектностью бригады на стане № 2 в течение первых восьми часов рассматриваемого периода.

В качестве альтернативных решений (возможные управляющие воздействия) ЛПР сформулированы следующие.

1. Никаких изменений не предпринимать (т.е. план-график для стана № 2 сдвигается на 8 ч.).
2. Поменять местами третью и пятую позиции плана-графика стана № 2 с целью ускорения выполнения особо контролируемых заказов.
3. В плане-графике стана № 3 четвертую позицию поставить на первое место с целью более равномерной загрузки термоотдела; чтобы эта перестановка

не вызвала дополнительных переналадок стана, перевести первую позицию на последнее место.

4. Изменить план-график стана № 2 как во втором решении, а стана № 3 как в третьем.
5. Изменить планы-графики как в четвертом решении; дополнительно переставить операторов со стана № 1 на стан № 2.
6. Не изменяя планы-графики, переставить операторов со стана № 1 на стан № 2.
7. Не изменяя планы-графики, переставить операторов со стана № 3 на стан № 2.
8. Изменить план-график стана № 3, как в третьем решении и переставить операторов со стана № 3 на стан № 2.
9. Не изменяя планы-графики, переставить операторов со стана № 4 на стан № 2.

В качестве критериев оценки альтернативных решений определены следующие: отставание от плана выпуска труб по особо контролируемым заказам, тыс. м; то же по обычным заказам; средний объем незавершенного производства, тыс. м; простой станом, ч.

Ниже приведены фрагменты протокола диалога ЛПР с ВС при моделировании хода производственного процесса (в среде имитационного моделирования Arena). Фрагмент протокола диалога, соответствующий альтернативе № 1, отображает необходимую информацию при обосновании выбора приемлемого решения: сведения о незавершенном производстве с разбивкой по агрегатам (табл. 2); прогноз выполнения плана-графика изготовления и сдачи труб (табл. 3); основные показатели рабо-

Таблица 1

Исходный график изготовления труб*

Номер стана	Номер и тип заказа	Типоразмер труб (№)	Количество труб, тыс. м
1	305ок	1	32
	297об	1	20
	118об	1	70
	128ок	2	20
	550об	2	21
2	204ок	3то	16
	338ок	3то	25
	194об	3	53
	291ок	4	20
	643ок	4	48
3	062ок	5	160
	480ок	6то	20
	493ок	6	50
	618об	6то	20
	251об	6	70
4	441об	6	32
	163об	6	90
	625об	7	32
	084ок	8	65
	627об	8	45
	237об	8	50
	033об	8	38
	160об	8	95

*ок – особо контролируемые заказы, об – обычные заказы; то – термообработываемые трубы.

Таблица 2

Сведения о незавершенном производстве

Номер агрегата	Наименование агрегата	Средний объем продукции перед агрегатом, тыс. м
15	Правильный стан	2,020
8	Термическая печь № 2	26,837
19	Приемка ОТК	0,791
Итого		29,648

Таблица 3

Выполнение плана-графика изготовления и сдачи труб на стане № 2 (альтернатива № 1)

Номер и тип заказа	Типоразмер трубы (№)	План, тыс. м	Изготовлено, тыс. м	Сдано, тыс. м
204ок	3то	16,000	16,000	16,000
338ок	3то	25,000	25,000	25,000
643ок	4	48,000	31,511	29,571
291ок	4	20,000	20,000	20,000
194об	3	53,000	53,000	53,000

ты на моделируемый период: отставание сдачи труб по особо контролируемым заказам 18,429 тыс.м, по обычным заказам 5,5 тыс. м; средний объем незавершенного производства 29,648 тыс. м; суммарные простои станов 14,0 ч.

Фрагмент протокола диалога, отражающий ход производства, соответствующий альтернативе № 2 управляющего воздействия: «Поменять местами позиции стана № 2, номер первой позиции 3, номер второй позиции 5», содержит прогноз выполнения плана-графика изготовления и сдачи труб (табл. 4).

Таблица 4

Выполнение плана-графика изготовления и сдачи труб на стане № 2 (альтернатива №2)

Номер и тип заказа	Типоразмер трубы (№)	План, тыс. м	Изготовлено, тыс. м	Сдано, тыс. м
204ок	3то	16,000	16,000	16,000
338ок	3то	25,000	25,000	25,000
643ок	4	48,000	48,000	48,000
291ок	4	20,000	20,000	20,000
194об	4	53,000	27,919	25,102

Основные показатели работы на моделируемый период: отставание сдачи труб по особо контролируемым заказам не наблюдалось, по обычным заказам 33,398 тыс. м; средний объем незавершенного производства 29,617 тыс.м; суммарные простои станов 17,0 ч.

Аналогичная процедура прогнозирования хода производства выполнена для каждой из девяти альтернатив. Полученные оценки альтернатив приведены в табл. 5.

Таблица 5

Оцененные альтернативы управляющих воздействий

Номер альтернативного решения	Значения критериев			
	№ 1, тыс. м	№ 2, тыс. м	№ 3, тыс. м	№ 4, ч
1	18,249	5,500	29,648	14,0
2	0	33,398	29,617	17,0
3	22,157	0	18,171	14,0
4	3,728	27,898	17,990	17,0
5	5,500	26,831	21,814	17,0
6	0	18,250	27,483	14,0
7	0	46,000	23,043	14,0
8	65,658	0	40,433	14,0
9	0	35,160	27,425	14,0

Для сравнения оцененных альтернатив и выбора лучшей из них ЛПР обращается к программе ИОЗ.

Фрагмент протокола диалога ОПР с указанной программой приведен ниже.

После выдачи оцененных альтернатив программа ИОЗ сообщает:

«Доминируемых альтернатив 2»:

«Третья альтернатива предпочтительна по сравнению с восьмой».

«Шестая альтернатива предпочтительна по сравнению со второй».

«Среди альтернатив семь недоминируемых».

«Выдать на дисплей их список?»

Ответ ЛПР: «Да»

Выдаются на экран номера альтернатив (1, 3, 4, 5, 6, 7, 9) и значения критериев.

ИОЗ: «Добавить интервальный коэффициент замещения (ИКЗ)».

«Номер первого критерия»

Ответ ЛПР: «1»

«Номер второго критерия»

Ответ ЛПР: «2»

«Значение нижней границы?»

Ответ ЛПР: «3»

«Значение верхней границы?»

Ответ ЛПР: «5»

ИОЗ: «Информация проверена и включена в структуру предпочтений, сообщению присвоен № 1».

ИОЗ: «Доминируемых альтернатив две»:

«Четвертая альтернатива предпочтительна по сравнению с пятой».

«Седьмая альтернатива предпочтительней по сравнению с первой».

«Среди альтернатив пять недоминируемых».

«Выдать на дисплей их список?»

Ответ ЛПР: «Да»

Выдаются на экран номера альтернатив (3, 4, 6, 7, 9) и значения критериев.

ИОЗ: «Добавить интервальный коэффициент замещения (ИКЗ)».

«Номер первого критерия»

Ответ ЛПР: «2»

«Номер второго критерия»

Ответ ЛПР: «3»

«Значение нижней границы?»

Ответ ЛПР: «2»

«Значение верхней границы?»

Ответ ЛПР: «10»

ИОЗ: «Информация проверена и включена в структуру предпочтений, сообщению присвоен № 2».

В результате введения этих предпочтений программа ИОЗ определила недоминируемые альтернативы: шестая и девятая. И, наконец, введение ЛПР относительно критериев 2 и 4 соответствующих границ 0,5 и 1 определило одну недоминируемую (лучшую) альтернативу – шестую (табл. 6).

Таким образом, в результате завершения диалога ЛПР отдал предпочтение варианту, связанному с

Ход решения задачи выбора лучшего варианта управляющего воздействия в соответствии с предпочтениями ЛПР

Номер шага	Информация предпочтений ЛПР о замещениях критериев	Номера лучших альтернатив
0	–	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
1	$\lambda_{12} = [3; 5]$	3, 4, 6, 7, 9
2	$\lambda_{23} = [2; 10]$	6, 9
3	$\lambda_{24} = [0,5; 1]$	6

Таблица 6 включением операторов со стана № 1 в бригаду стана № 2.

Программные средства диалоговой процедуры выбора оперативных решений использованы в АСУ производством, а также в учебном процессе по соответствующей специальности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Altiok, Tayfur and Benjamin Melamed. Simulation Modeling and Analysis with ARENA. Elsevier, Inc., 2007.
2. Фомин С.Я. // Изв. вуз. Черная металлургия, 2011. № 5. С. 58 – 65.

© 2012 г. С.Я. Фомин
Поступила 19 июня 2011 г.