

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 519.876

С.Я. Фомин, Ю.С. Белякова

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

РАЗРАБОТКА ДИАЛОГОВОЙ ГИБКОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ МНОГООПЕРАЦИОННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ. СООБЩЕНИЕ 2

Аннотация. Представлена структура диалоговой процедуры построения технологических маршрутов изготовления труб сочетанием способов холодной деформации. Для прогноза хода производственного процесса многопродуктовой многооперационной производственной системой использована среда имитационного моделирования Arena.

Ключевые слова: диалоговая процедура, ЛПР, структура производственного комплекса, технологический маршрут, ресурс пластичности, среда имитационного моделирования, транзакт, критериальные оценки.

DEVELOPMENT OF INTERACTIVE FLEXIBLE AUTOMATED OPERATING CONTROL SYSTEM FOR MANAGEMENT OF A COMPOUND MULTIOPERATIONAL MANUFACTURING. REPORT 2

Abstract. The structure of the dialog procedure of pipe processing route plotting manufacture by combination of cold straining is described in report 2. Simulation environment Arena is used for creating the forecast in the industrial complex process of multiproduct and multioperational industrial system.

Keywords: dialog procedure, decision-maker, structure of industrial complex, processing route, ductility source, simulation environment, transact, criterion of optimality.

В работе [1] представлен инструментальный комплекс средств поддержки выбора оперативных решений в АСУ производством, разнообразие которого не включает возможность варьирования структурами технологических маршрутов (ТМ) в процессе разрешения разнообразных конфликтных ситуаций. Таким является, в частности, трубоэлектросварочное производство, в отличие от которого изготовление стальных холоднодеформированных труб (ХДТ) включает широкие возможности разнообразных структурных комбинаций способов деформации (качественных и количественных) при построении многооперационных ТМ [2].

На рис. 1 дана укрупненная структура металлопотоков в цехе изготовления стальных ХДТ. Использование в схемах ТМ способов волочения связано с существенно повышенным по сравнению с холодной прокаткой на станах холодной прокатки труб (ХПТ) расходом металла (закатка концов труб-заготовок перед волочением) и с включением в ТМ дополнительных вспомогательных операций (термообработка, химическая обработка, правка, закатка головок и др.). Это, естественно, сопровождается ростом соответствующих потерь в виде брака (обрывы концов труб, «риски», «задиры» и др.), а также повышенным расходом энергии и материалов. Способу холодной прокатки присущи «свои» виды бра-

ка («налипание», «надавы», волнистость наружной поверхности и др.) и высокий удельный расход электроэнергии.

Построение ТМ изготовления ХДТ реализовано с помощью динамического программирования (ДП). Достоинством указанного метода является возможность генерации в процессе «обратного» хода множества субоптимальных альтернативных ТМ, позволяющих оперативному персоналу разрешать возникающие конфликтные ситуации с минимальными отклонениями (по критериальным оценкам) от оптимальных ТМ, построенных в результате «прямого хода» итеративной диалоговой процедуры метода ДП. Укрупненная структура диалоговой процедуры построения методом ДП технологических маршрутов изготовления ХДТ приведена на рис. 2. Основные компоненты структуры ансамбля математических моделей, используемых лицом, принимающим решение (ЛПР) при «сборке» ТМ изготовления ХДТ описаны в работе [2].

Для описания совместного функционирования совокупности ТМ при выполнении цехом по изготовлению ХДТ производственной программы рассмотрим некоторые функциональные возможности основных блоков среды имитационного моделирования Arena применительно к генерации ТМ при выборе оперативных решений в АСУ производством ХДТ [1].

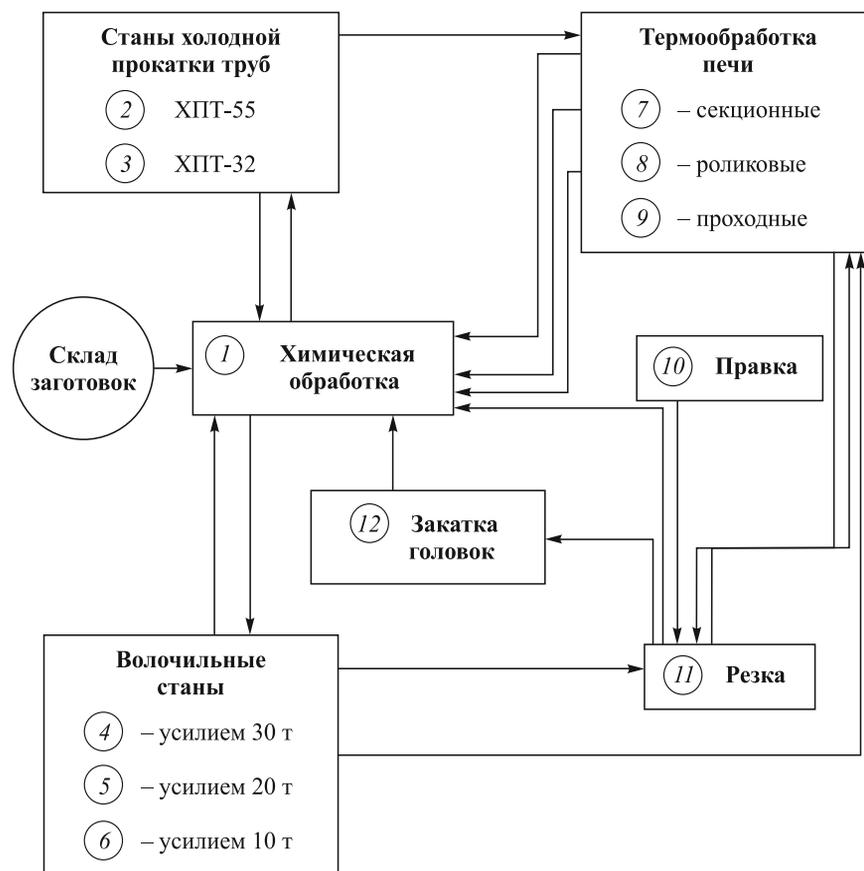


Рис. 1. Укрупненная структура металлотоков в цехе изготовления стальных холоднодеформированных труб

Создание транзакта – пакета труб, назначенного в обработку, реализуется (генерируется) блоком Create. Возможен ручной ввод транзакта ЛПР, а также с использованием встроенного в блок Create специального программного средства автоматической генерации транзактов. Вид закона распределения поступления транзактов и соответствующие их параметры вводятся в блок заранее. Одновременный ввод нескольких транзактов в параллельные, сходящиеся и расходящиеся ТМ позволяет моделировать движение металлотоков как многопродуктовую, многооперационную динамическую систему. Данные, выводимые из моделей транзактов блоком Dispose, используются для формирования статистических отчетов: динамика очередей пакетов труб на операциях ТМ, уровни простоев агрегатов и т.п. С помощью такой информации ЛПР достаточно корректно справляется в режиме диалога с реализацией одного из самых сложных этапов выработки оперативных решений – прогноз и оценка возможных вариантов разрешения конфликтных ситуаций на интервале управления (сутки, смена, часы).

Блок Process имитирует работу агрегатов ТМ (имеет место некоторая аналогия с описанием функционирования каналов в системах массового обслуживания длительности обработки пакетов труб в зависимости от назначения конкретного маркоразмера, массы пакета и др.). Предусмотрены как ручной ввод

данных, так и автоматический ввод в соответствии с выявленными законами распределения длительности обработки.

Для моделирования сложной разветвленной структуры металлотоков изготовления ХДТ используются блоки Decide (ветвление) и Batch (группировка). Их функции весьма разнообразны и могут определяться как директивными указаниями планово-распределительного бюро (ПРБ) цеха, так и сложившимися ситуативными условиями.

В качестве примера рассмотрим фрагмент процедуры разрешения следующей конфликтной ситуации. ПРБ цеха запланировало изготовление из горячекатаных труб-заготовок размерами 68×5,0 мм, 57×4,0 мм и 45×4,0 мм из стали марки 20 общего назначения ряд типоразмеров труб определенных количеств (тыс. м) к заданным срокам по каждому типоразмеру с использованием ТМ (табл. 1), построенных с помощью диалоговой процедуры ДП (учтены условия по наличию рабочего инструмента: валки, калибры, оправки и др.; условия по наличию заготовки требуемых размеров и количества).

В качестве критериальных оценок субоптимальных ТМ («обратный ход» ДП) приняты: удельный расход металла (расходный коэффициент), технологические затраты (складываются из занятости каждого конкретного агрегата на каждом проходе ТМ), доля

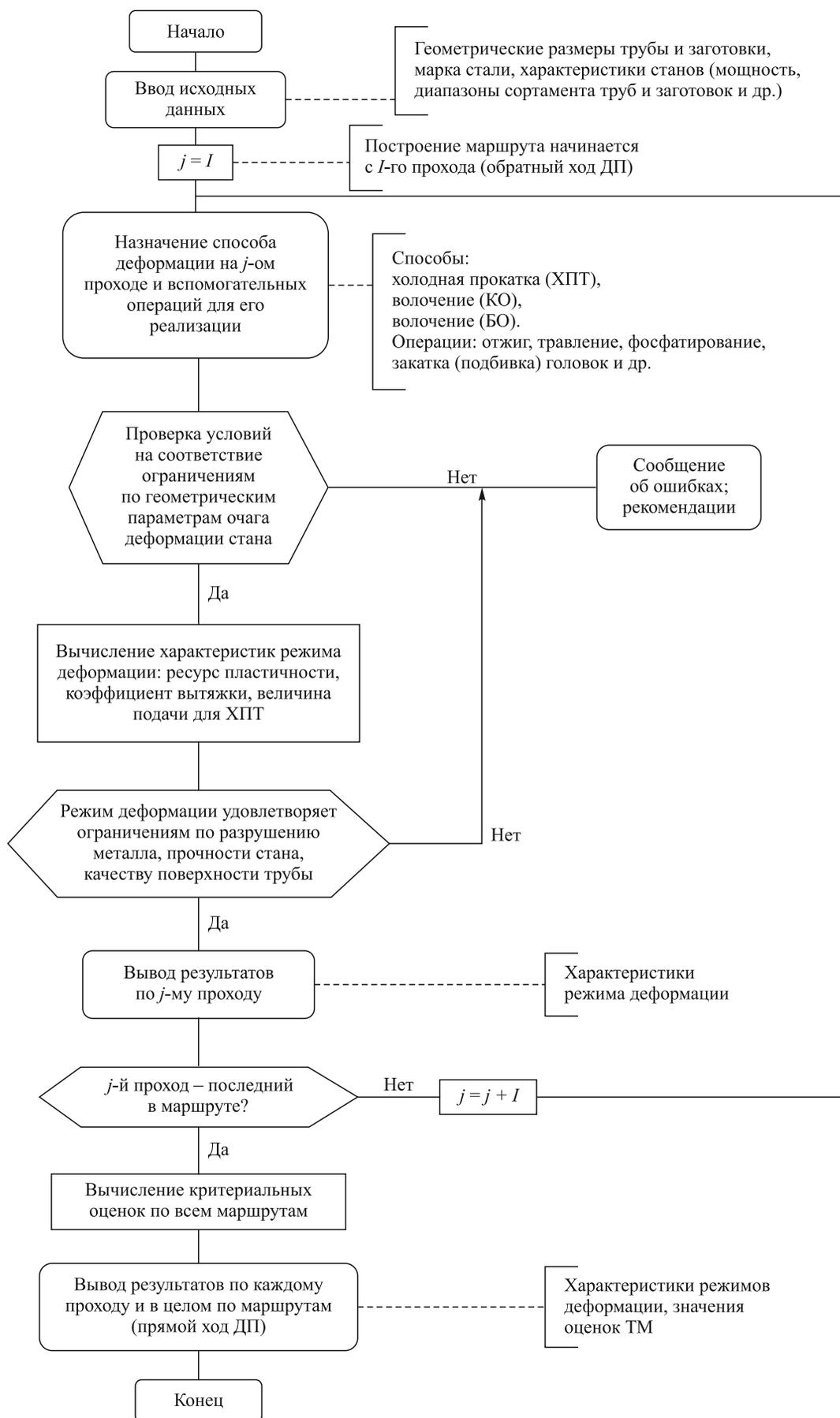


Рис. 2. Укрупненная структура диалоговой процедуры построения методом ДП технологических маршрутов изготовления холоднотермометрированных труб

Таблица 1

Технологические маршруты

Номер ТМ	Номер прохода ТМ	Калибровка ТМ: диаметр и стенка трубы, мм	Технологические операции ТМ (номера агрегатов)	Агрегаты
1.	0.	68×5,0 заготовка	1	1 – травильная ванна 2 – стан ХПТ-55
	1.	38×2,2	2, 7, 10, 1	
	2.	32×0,9	3, 7, 12, 1	
	3.	15×1,0 готовая труба	6, 8, 10, 11	
2.	0.	57×4,0 заготовка	12, 1	3 – стан ХПТ-32 4 – стан волочильный (30 тн)
	1.	46×2,9	4, 7, 11, 10, 12, 1	
	2.	22×1,4	3, 7, 11, 10, 12, 1	
	3.	15×1,5 готовая труба	6, 8, 10, 11	
3.	0.	45×4,0 заготовка	12, 1	5 – стан волочильный (20 тн) 6 – стан волочильный (10 тн)
	1.	38×3,1	5, 7, 11, 10, 1	
	2.	22×1,4	3, 7, 10, 12, 1	
	3.	15×1,5 готовая труба	6, 8, 10, 11	
4.	0.	68×5,0 заготовка	1	7 – печь секционная
	1.	32×2,8	2, 9, 12, 1	
	2.	24×3,0 готовая труба	5, 9, 10, 11	
5.	0.	68×5,0 заготовка	1	8 – печь роликовая
	1.	32×1,9	2, 7, 10, 12, 1	
	2.	25×2,0 готовая труба	5, 9, 10, 11	
6.	0.	45×4,0 заготовка	1	9 – печь проходная
	1.	25×2,0 готовая труба	3, 9, 10	
7.	0.	45×4,0 заготовка	12, 1	10 – правильный стан 11 – обрезной агрегат
	1.	32×3,4	5, 9, 10, 11, 12, 1	
	2.	20×3,5 готовая труба	5, 9, 10, 11	
8.	0.	57×4,0 заготовка	12, 1	12 – агрегат закатки головок
	1.	44×3,5	4, 7, 10, 11, 12, 1	
	2.	32×3,0 готовая труба	5, 9, 10, 11	

отбракованных труб, не подлежащих восстановлению (окончательный брак). Для реализации диалоговой процедуры (см. рис. 2) разработана специальная программа на языке программирования VBA (Visual Basic for Applications), который встроен в приложения Microsoft Office и ориентирован именно на пользователей, а не на профессиональных программистов (хотя профессионалы пользуются им очень активно), поэтому создавать программы на нем можно достаточно быстро и легко. Кроме того, в Office встроены мощные средства, облегчающие работу пользователя: подсказки по объектам и по синтаксису, макрорекордер и т.п. Таким образом, данная программа позволит не умеющему программировать пользователю эффективно и оперативно управлять процессом построения ТМ.

Среднее время построения альтернативных ТМ для изготовления одного типоразмера готовых труб из конкретной горячекатаной заготовки (см. табл. 1) составляет 1 – 1,5 мин (при условии, что диалог ведет достаточно компетентный опытный ЛППР, способный адекватно управлять процессом построения ТМ, опираясь на свои «субъективные» соображения.

Порядок запуска в производство труб по оптимальным маршрутам, представленным в табл. 1, определен с

помощью программного модуля интервального оценивания замещенных критериев (ИОЗ) [3]. С учетом предпочтений ЛППР оперативного уровня сформулированы следующие критерии оптимальности.

- Суммарная длительность простоев головных агрегатов (ГА) – станков:

$$K_1 = \sum_{j=1}^{n_{га}} \sum_{r=1}^{n_j^i} \sum_{l=1}^L T_{rj}^{n_l^i} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где j – номер ГА; $n_{га}$ – число ГА; n_j^i – число простоев j -го ГА на i -ом проходе l -го ТМ; L – число ТМ; T_{rj}^{il} – длительность r -го простоя j -го ГА на i -ом проходе l -го ТМ; n_l^i – число проходов l -го ТМ.

- Суммарное отставание плановых сроков от директивных сроков завершения последних проходов ТМ при выполнении заказов планового задания:

$$K_2 = \sum_{z_1=1}^Z \sum_{l=1}^L (t_{i_l^*}^{z_{\text{дир}}} - t_{i_l^*}^{z_{\text{пл}}}) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где i_l – последний проход l -го ТМ, $l \in L$, L – множество ТМ; z_1 – вид заказа, связанного с использованием l -го ТМ, $z_1 \in Z$, Z – множество заказов планового задания; $t_{i_l^*}^{z_{\text{дир}}}$ и $t_{i_l^*}^{z_{\text{пл}}}$ – соответственно директивный и плановый

Пример рассматриваемого субоптимального маршрута

Номер прохода ТМ	Калибровка ТМ: диаметр и стенка трубы, мм	Технологические операции ТМ (номера агрегатов)
0.	68×5,0 заготовка	1
1.	42×1,85	2, 7, 10, 12, 1
2.	32×1,9	5, 12
3.	25×2,0 готовая труба	5, 9, 10, 11

сроки завершения последнего i_l^* -го прохода l -го ТМ изготовления труб z -го заказа.

На каждом шаге диалоговой процедуры метода ИОЗ проверяются условия наличия задержек поступления горячекатаной заготовки требуемых макроразмеров, рабочего инструмента (валки, калибры, оправки, волоки и др.). Выявленные задержки включаются в систему ограничений и наряду с директивными сроками выполнения заказов Z используются в диалоговой процедуре метода ИОЗ при определении порядка запуска ТМ (см. табл. 1) в производство.

Построенная с помощью оптимального модуля ИОЗ последовательность запуска ТМ передается в имитационный модуль Агента, где в форме динамической многопродуктовой многооперационной производственной системы (см. рис. 1) рассматривается качество реализуемости полученных графиков (прости агрегатов, очереди, задержки) в режиме реального времени на конкретном интервале управления (сутки, смена, часы).

В результате просмотра движения металлопотока цеха на суточном и сменном интервале времени выявлена хроническая очередь из двух-трех пакетов труб (транзакты) перед станом ХПТ-55 (агрегат № 2 в табл. 1). Для разрешения такой конфликтной ситуации ЛПР оперативно подбирает из множества субоптимальных ТМ маршрут с пониженным участием агрегата № 2. Самым близким субоптимальным маршрутом оказался следующий ТМ (табл. 2).

В результате перехода на прокатку трубы размера 42×1,85 мм очередь перед станом ХПТ-55 «рассосалась». При этом появился дополнительный проход 42×1,8 мм → 32×1,9 мм на волочильном 20-т стане, который был загружен не полностью, что позволило его дозагрузить.

Переход со второго прохода ТМ на третий проход 25×2,0 мм выполняется без промежуточного отжига на размере 32×1,9 мм, поскольку суммарный ресурс пластичности (ψ) при двух безоправочных проходах 42×1,8 мм → 32×1,9 мм → 25×2,0 мм не исчерпан ($\psi = 0,67$). Отсутствие термообработки и, соответственно, химической обработки на размере 32×1,9 мм существенно (на 12 %) снижает технологические издержки. Однако расходный коэффициент металла вырос с 1,16 до 1,20.

Таким образом, конфликтная ситуация разрешена путем реконструкции маршрута № 5 (см. табл. 1) с наименьшими суммарными издержками построения нового субоптимального маршрута (см. табл. 2). Суммарное время, включающее генерацию методом ДП альтернативных ТМ, построение последовательности запуска пакетов в производство (оптимизационный модуль ИОЗ) и проверка реализуемости полученных графиков (имитационный модуль Агента) не превышает 15 мин, что соответствует временным ограничениям по разрешению конфликтных ситуаций в процессе производства холоднодеформированных труб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомин С.Я. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 1. С. 61 – 65.
2. Фомин С.Я. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2013. № 3. С. 48 – 55.
3. Фомин С.Я. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 5. С. 58 – 65.

© 2013 г. С.Я. Фомин, Ю.С. Белякова
Поступила 18 декабря 2012 г.