

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Г.Б. Бурдо, А.Н. Болотов, Н.В. Испирян, С.Р. Испирян

В настоящее время в машиностроении произошли существенные структурные перестройки, связанные с тем, что доля предприятий единичного (ЕДП) и мелкосерийного производства (МСП) возросла до 40–50 %. К данному типу производств, как правило, относятся фирмы, занятые производством высокотехнологичных и наукоемких изделий. Существующие автоматизированные системы управления производством (АСУТП) оказались неэффективными, так как не учитывают специфику ЕДП и МСП, связанную с позаказной системой планирования, отсутствием долговременных планов выпуска изделий (на 0,5–1 год), необходимостью оперативных корректировок объемных планов и их увязки с календарным планированием [1, 2, 5]. Указанные причины предопределяют значительно худшие технико-экономические показатели технологических подразделений (ТП) предприятий ЕДП и МСП по сравнению с серийным и крупносерийным производством (срывы сроков поставок, малая загрузка оборудования, высокая себестоимость и так далее). Поэтому решение задачи интеллектуальной организации ЕДП и МСП востребовано промышленностью.

Использование АСУТП в ЕДП и МСП предполагает пересмотр принятых принципов организации и управления производством, выдвигая на первый план такие, как многоуровневость, комплексность (организационно-технологические задачи), учет динамики состояния в ТП, высокая формальность и оперативность принятия решений за счет наличия элементов искусственного интеллекта (ИИ). Для решения задачи интеллектуальной организации Т_хП разработано математическое описание их состояний.

Все подсистемы: оперативного планирования (ОП), календарного планирования (КП), диспетчирования (Д), управления работой на рабочих местах (мастера $\{R_j\}$) связаны между собой, поэтому неэффективная работа любой из них приводит к сбою работы в Т_хП в целом. Состояние Т_хП характеризуется множеством показателей $\{PK_j\}_i$ на каждом i -м уровне управления, на каждый из которых накладываются ограничения и устанавливается в области их допустимых значений (PK_{jmin} и PK_{jmax}), характеризующие устойчивую работу Т_хП. В процессе работы Т_хП определяют фактические значения показателей $\{PK_{jф}\}$ и по их различиям $\{\Delta PK_{ji}\}$ с $\{PK_{jmin}\}$ или $\{PK_{jmax}\}$ определяют тенденции их стремления к нулю, по которым формируют множества управляющих воздействий $\{YB_{ji}\}$, позволяющих ввести Т_хП в нормальное состояние функционирования, обеспечивающее выполнение объемного плана.

Иерархическая модель интеллектуальной системы управления технологическими подразделениями

На первом этапе была разработана модель, в которой рассматриваются Т_хП = $\{K_{ij}\}$, где $\{K_{ij}\}$ – элементы (участки Т_хП), управляемые АСУТП, представляемой в виде операторов $\{R_j\}$, P , B , O , C (рис.).

АСУТП в силу системного принципа (подчиненность целей функционирования подсистем низшего уровня целям подсистем высшего) имеет связи с системой управления организации (СУО), а в связи с необходимостью учета параметров состояния технологических подразделений при проектировании технологических процессов – с системой их автоматизированного проектирования (САПР ТП).

Операторы $\{R_j\}$ управляют непосредственно $\{K_{ij}\}$, осуществляя контроль за технологической дисциплиной (ТД), распределение работ по рабочим местам (РМ), сбор информации о ходе выполнения работ и занятости рабочих мест и используют информацию $\{Z_{ij}\}$ – множество параметров календарного план графика (КПГ) выпуска

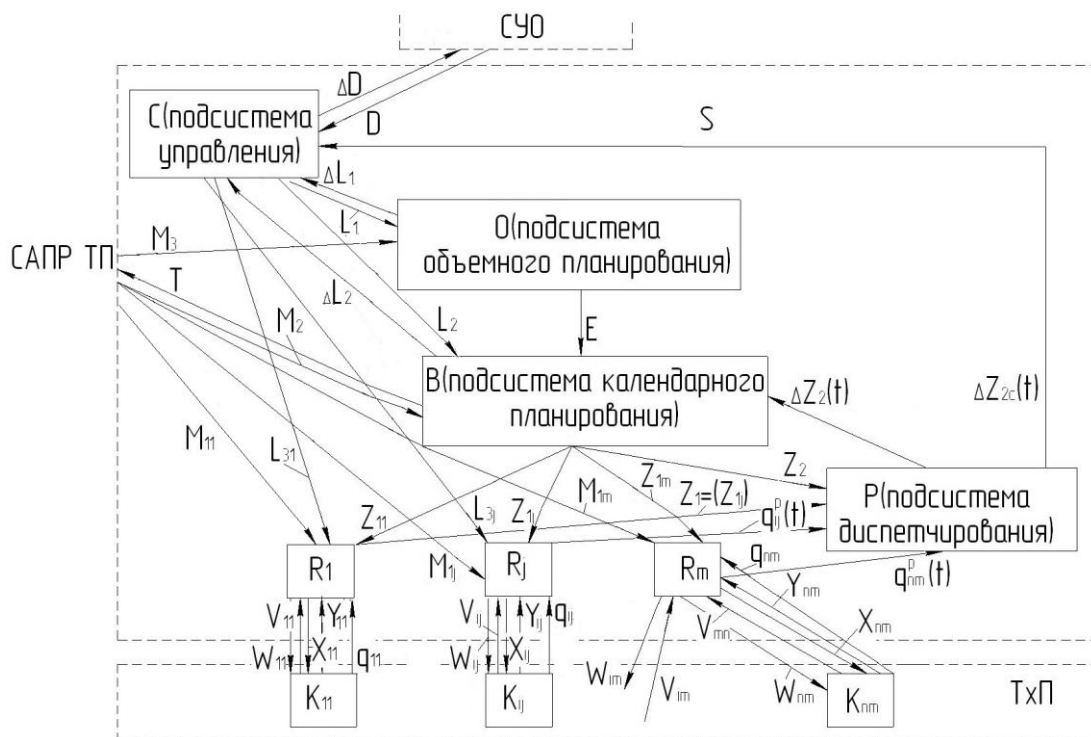
(КПГ) деталей; $\{M_{1j}\}$ – множество параметров технологии; $\{Y_{1j}\}$ – множество параметров, характеризующих загрузку и число рабочих мест в $\{K_{ij}\}$; $\{V_{ij}\}$ – множество параметров, характеризующих соблюдение ТД; $\{L_{3j}\}$ – управляющее воздействие от подсистемы С с целью корректировки КПГ; $\{W_{ij}\}$ – управляющие воздействия по соблюдению ТД; $\{X_{ij}\}$ – управляющие воздействия с целью соблюдения КПГ; $\{q_{ij}\} \leftarrow (t)$ – множество параметров, описывающих фактическое состояние РМ и КПГ.

Подсистема Р определяет разницу $\Delta Z_2(t)$ и $(\Delta Z_2^c(t))$ фактических КПГ и числа РМ от границ, задаваемых в Z_2 для каждого K_{ji} участка ТхП.

Подсистема В рассчитывает: 1) множество параметров КПГ ($\{Z_{1j}\}$ для $\{R_j\}$ и Z_2 для Р) на основании информации Е (множество параметров ОП) и М (множество параметров маршрутной технологии); L_2 (множество параметров, характеризующих указания оператора С; предельные сроки реализации КПГ, плановое число РМ); 2) отличие КПГ от предельных значений расчетного (ΔL_2) и фактическую загрузку РМ (T) для САПР ТП.

Оператор О рассчитывает множество параметров, содержащихся в объемном плане (Е), на основании L_1 (множество параметров, характеризующих планы выпуска изделий и число РМ) и M_3 (множество параметров, характеризующих трудоемкости); множество параметров ΔL_1 , характеризующих отличия рассчитанного ОП от заданного.

Подсистема С задает ОП (L_1) при его первоначальном формировании, при итерационном уточнении, при анализе КПГ и корректировке по результатам его выполнения в ТхП; разрабатывает множество параметров КПГ (L_2) при его первоначальном формировании, при итерационных процедурах его уточнения и при корректировке на основе фактического его выполнения в ТхП. Второй вид функций оператора С определяет множество параметров отклонения (прогноз) ΔD от планового задания D для системы управления организацией (СУО) на основе сформированного ОП, на основе рассчитанных отклонений ΔL_2 и на основе анализа его выполнения в ТхП ($\Delta Z_2(t)$); третий – определяет организационную сторону управления (L_3) и служит для непосредственного управления $\{R_j\}$.



Структурная схема АСУТП

В рамках модели дано теоретико-множественное описание функций (всего 29) операторов, которые в связи с ограниченностью объема не приведены.

Функции операторов реализуются в человеко-машинном способе организации АСУТП, при этом оператором осуществляются функции распределения работ по подразделениям, составление прогноза для СУО, определение времени окончания итерационных процедур при составлении и корректировке объемных планов.

В САПР ТП используется информация от АСУТП, что создает предпосылки эффективного управления уже на этапе технологической подготовки производства, что можно так же трактовать, как принцип создания АСУТП.

Уточним постановку задачи на основе рассмотренной модели. Первая задача управления состоит в том, чтобы привести работу Т_хП (то есть отличие $\Delta Z_2(t)$) в состояние, которое обеспечивает выполнение ОП (то есть сроков выполнения контрактов). Вторая задача – на основе имитации работы Т_хП путем разработки КПП определить сроки выполнения новых контрактов.

Имитационная модель расчета календарных планов-графиков с элементами искусственного интеллекта

При расчете КПП имитируется работа Т_хП и определяются сроки прохождения деталей по рабочим местам. На первом этапе всем работам присваиваются приоритеты (всего 6) в данном интервале оперативного планирования (ИОП) длительностью 5 дней с помощью производственных моделей [3]. Высший критерий (вне очереди) может присваиваться СУО. Остальные работы разбиваются на типы и получают паритеты с помощью утверждений вида: ЕСЛИ {тип работы <указание типа>}, ТО {она имеет приоритет <номер приоритета>}.

Типы работ устанавливаются исходя из их назначения и сроков выполнения работ (работы по срочному заданию СУО; плановые работы текущего ИОП; работы по изготовлению средств технологического оснащения для изделий планового периода; плановые работы следующего ИОП; исправление брака по работам текущего ИОП; работы из оперативных резервов мастеров; заказы с длительными сроками выполнения и так далее). По мере перехода в следующий интервал оперативного планирования приоритеты меняются. К примеру, работы по изготовлению средств технологического оснащения для производства изделия приоритетнее изготовления самого изделия, внеплановые работы из последующих ИОП менее приоритетны текущих и так далее; по мере перехода в следующие ИОП работы из низкопаритетных переходят в разряд высокопаритетных и так далее. Детали с более высоким приоритетом обрабатываются первыми, а если оборудование свободно, то обслуживается первая поступившая деталь.

Для деталей в пределах одного приоритета предложено несколько схем (всего 10) прохождения деталей по операциям на основе анализа состояния Т_хП, выбираемых с помощью продукций вида:

ЕСЛИ {<параметры Т_хП >}, ТО {схема<номера схем>}.

Например: ЕСЛИ {<загрузка оборудования по детали-потоку снижается>}, ТО {<первой обслуживается деталь с меньшей длительностью I части технологического процесса (схема 1) или с меньшей длительностью первой операции (схема 2)>}. Строится расписание прохождения деталей по операциям по выбранным схемам, из них выбирают ту, для которой общий цикл T по l партиям деталей минимален:

$$T = \max_{lqi} \{t_{lqi}^k\} \rightarrow \min ,$$

где t_{lqi}^k – время окончания обработки e -й партии деталей на q -ой операции на i -й группе станков от начала соответствующего ИОП. Расписание строится пошагово методом ветвей и граней.

Следует отметить, что в контексте принципа создания предпосылок для управления, необходимо до начала реализации (или параллельно) проекта АСУТП сбалансировать типы и группы оборудования Т_хП по мощностям путем анализа номенклатуры выпускаемой продукции, что позволит в последующем избежать появления «узких» мест в производстве.

Модель диспетчирования технологических подразделений

В связи с высокой сложностью модели управления Т_хП разработан способ управления на основе нечетных множеств по информации, содержащейся в $\Delta Z_2(t)$.

В качестве рассогласований введены переменные:

X_1 – объемное отставание (опережение) от КППГ по технологическому подразделению,

$\{X_{2i}\}$ – отставание (опережение) от КППГ по i -м типам станков;

$\{X_{3ji}\}$ – отставание (опережение) от КППГ по j -м группам i -х типов станков;

X_4 – скорость изменения объемных отставаний (опережений) за 1 день ИОП.

Каждая переменная задана терминами *NB*, *ZR*, *PB*. Первые три переменные определяются отношением рассогласования (часы) за ИОП (5 дней) к соответствующему однодневному фонду работы оборудования, последняя – отношением отставания за последние 2 дня к двухдневному фонду работы оборудования.

Управляющее воздействие Y – скорость объемной разгрузки (догрузки) Т_хП работами имеет 5 термов: *NB*, *NM*, *ZR*, *PM*, *PB* и размерность, аналогичную X_4 . Функции принадлежности переменных и управляющего воздействия определялись методом экспертных оценок, имеющих треугольные и трапецеидальные виды.

Управляющее воздействие находят по алгоритму нечетного вывода Мамдани по разработанной базе правил. База имеет 15 правил вида:

ЕСЛИ $\{X_1 <\text{терм } X_1>$ и $X_{2ji} <\text{терм } X_{2ji}>$ и $X_{3ji} <\text{терм } X_{3ji}>$ и $X_4 <\text{терм } X_4>$, ТО $\{Y <\text{терм } Y\}$.

На втором этапе Y доводится до участков (групп и типов станков) Т_хП, допустивших существенные отставания по параметрам $\{X_{3ji}\}$ и определяются причины отставания (опережения) с помощью продукционных моделей вида:

ЕСЛИ $\{<\text{соотношение плановых и выполненных работ}>$ и (больше, меньше) $<\text{соотношение планового и фактического фонда времени}>$, ТО $\{<\text{возможные причины}>\}$.
К примеру: ЕСЛИ $\{<\text{отношение отставания к плановому фонду времени}>$ больше $<\text{отношения уменьшения фактического фонда времени к плановому}>$, ТО $\{<\text{причины: 1) организационные, 2) ошибки нормирования}>\}$. Далее причины анализируются операторами с целью их ликвидации.

Указанные принципы и реализация на их основе моделей интеллектуальной организации АСУТП позволят адекватно отразить процессы планирования и управления Т_хП и существенно повысят эффективность их работы. В настоящее время методика реализуется на одном из предприятий г. Твери [4].

Библиографический список

1. Вумек, Джеймс П. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс П. Вумек, Даниел Т. Джонс. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 473 с.
2. Палюх, Б.В. Повышение эффективности управления технологическими подразделениями единичного и мелкосерийного производства / Б.В. Палюх, Г.Б. Бурдо // Вестник Донского государственного технического университета. Ростов-на-Дону, 2009. Т. 9. № 4 (43). С. 659–665.
3. Рыбина, Г.В. Основы построения интеллектуальных систем / Г.В. Рыбина. М.: Финансы и статистика, 2010. 432 с.
4. Хаматдинов, Р.Т. Управление производственными системами геофизического приборостроения / Р.Т. Хаматдинов, Б.В. Палюх, Г.Б. Бурдо // Каротажник. 2009. № 11 (188). С. 81–101.
5. Бурдо, Г.Б. Модель автоматизированной системы управления технологическими процессами / Г.Б. Бурдо, Н.В. Испирян, С.Р. Испирян, Р.З. Диланян // Вестник Тверского государственного технического университета. Тверь: ТвГТУ. 2015. № 1 (27). С.10–15.

