

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Бурдо Г.Б., Испирян Н.В., Испирян С.Р., Мединцев С.В.  
Тверской государственной технической университет, Тверь, Россия*

**Ключевые слова:** управление технологическими процессами, искусственный интеллект, системный анализ.

**Аннотация.** В работе изложены принципы построения автоматизированной системы управления технологическими процессами в машиностроении. Показаны результаты системных исследований функций и структуры автоматизированной системы. Представлены операторы автоматизированной системы и способ организации проектных процедур. В качестве примера рассмотрена имитационная модель расчета календарных планов-графиков с элементами искусственного интеллекта.

## INTELLIGENT PROCESS CONTROL SYSTEM FOR MULTI- NOMENCLATURE MACHINE-BUILDING PRODUCTION

*Burdo G.B., Ispiryan N.V., Ispiryan S.R., Medintsev S.V.  
Tver State Technical University, Tver, Russia*

**Keywords:** process control, artificial intelligence, system analysis.

**Abstract.** The paper outlines the principles of building an automated control system of technological processes in mechanical engineering. The results of system research of functions and structure of the automated system are shown. The operators of the automated system and the method of organizing project procedures are presented. As an example, a simulation model for calculating calendar schedules with elements of artificial intelligence is considered.

### Введение

В настоящее время в машиностроении произошли существенные структурные перестройки, связанные прежде всего 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 наукоёмких 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]. 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 т.д.). Поэтому решение задачи интеллектуальной организации ЕДП и МСП востребовано промышленностью.

### **1. Постановка задачи**

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 счёт наличия элементов искусственного интеллекта (ИИ). Для решения задачи интеллектуальной организации Т<sub>х</sub>П 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<sub>х</sub>П в целом. Состояние Т<sub>х</sub>П характеризуется множеством показателей  $\{ПК_j\}_i$  на каждом  $i$ -ом уровне управления, на каждый из которых ПК <sub>$j$</sub>  накладываются ограничения и устанавливается в области их допустимых значений (ПК <sub>$jmin$</sub>  и ПК <sub>$jmax$</sub> ), характеризующие устойчивую работу Т<sub>х</sub>П. В процессе работы Т<sub>х</sub>П определяют фактические значения показателей  $\{ПК_{jф}\}$  и по их различиям  $\{\Delta ПК_{ji}\}$  с  $\{ПК_{jimin}\}$  или  $\{ПК_{jimax}\}$  определяют тенденции их стремления к нулю, по которым формируют множества управляющих воздействий  $\{УВ_{ji}\}$ , позволяющих ввести Т<sub>х</sub>П в нормальное состояние функционирования, обеспечивающее выполнение объемного плана.

### **2. Иерархической модель интеллектуальной системы управления технологическими подразделениями**

На первом этапе была разработана модель, в которой рассматриваются Т<sub>х</sub>П =  $\{K_{ij}\}$ , где  $(K_{ij})$  – элементы (участки Т<sub>х</sub>П), управляемые АСУТП, представляемой в виде операторов  $\{R_j\}$ ,  $P$ ,  $B$ ,  $O$ ,  $C$  (рис. 1).

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  $\{K_j\}$  – контроль за технологической дисциплиной (ТД), распределение работ по рабочим местам (РМ), сбор информации о ходе выполнения работ и занятости рабочих мест и используют информацию:  $\{Z_{1j}\}$  – 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  $C$  с целью корректировки КПГ;  $\{W_{ij}\}$  – управляющие воздействия по соблюдению ТД;

$\{X_{ij}\}$  – управляющие воздействия с целью соблюдения КПП;  $\{q_{ij}\} \leftarrow (t)$  – множество параметров, описывающих фактическое состояние РМ и КПП.

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

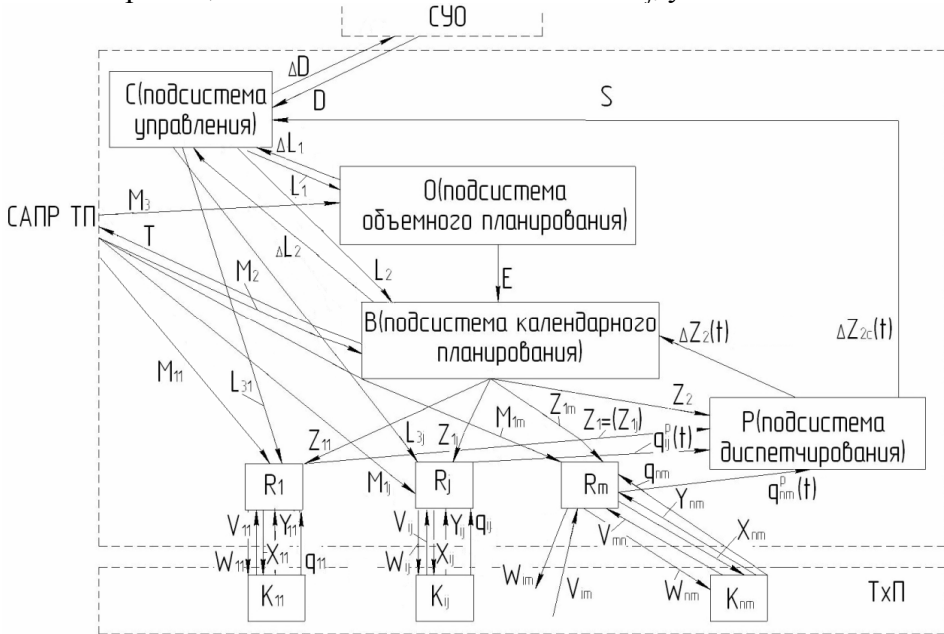


Рис. 1. Структурная схема АСУТП

Подсистема  $B$  рассчитывает: 1) множество параметров КПП ( $\{Z_{1j}\}$  для  $\{R_j\}$  и  $Z_2$  для  $P$ ) на основании информации  $E$  (множество параметров ОП) и  $M$  (множество параметров маршрутной технологии);  $L_2$  (множество параметров, характеризующих указания оператора  $C$ ; предельные сроки реализации КПП, плановое число РМ); 2) отличие КПП от предельных значений расчетного ( $\Delta L_2$ ) и фактическую загрузку РМ ( $T$ ) для САПР ТП.

Оператор  $O$  рассчитывает множество параметров, содержащихся в объемном плане ( $E$ ), на основании  $L_1$  (множество параметров, характеризующих планы выпуска изделий и число РМ) и  $M_3$  (множество параметров, характеризующих трудоемкости); множество параметров  $\Delta L_1$ , характеризующих отклонения рассчитанного ОП от заданного.

Подсистема  $C$  задает ОП ( $L_1$ ) при его первоначальном формировании, при итерационном уточнении, при анализе КПП и корректировке по результатам его выполнения в ТхП; разрабатывает множества параметров КПП ( $L_2$ ) при его первоначальном формировании, при итерационных процедурах его уточнения и при корректировке на основе фактического его выполнения в ТхП. Второй вид функций оператора  $C$  определяет множество параметров отклонения (прогноз)  $\Delta D$  от планового задания  $D$  для системы управления организацией (СУО) на основе сформированного ОП на основе рассчитанных отклонений  $\Delta L_2$  и на основе анализа его выполнения в ТхП

( $\Delta Z_2(t)$ ); третий – определяет организационную сторону управления ( $L_3$ ) и служит для непосредственного управления  $\{R_j\}$ .

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<sub>х</sub>П (т.е. отличие  $\Delta Z_2(t)$ ) в состояние, которое обеспечивает выполнение ОП (т.е. сроков выполнения контрактов). Вторая задача – на основе имитации работы Т<sub>х</sub>П путем разработки КПП определить сроки выполнения новых контрактов.

### **3. Имитационная модель расчета календарных планов-графиков с элементами искусственного интеллекта**

При расчете КПП имитируется работа Т<sub>х</sub>П 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 тип>} 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 т.д.). По мере перехода в следующий интервал оперативного планирования приоритеты меняются. К примеру, работы по изготовлению средств технологического оснащения для изготовления изделия приоритетнее изготовления самого изделия, внеплановые работы из последующих ИОП менее приоритетнее текущих и т.д.; по мере перехода в следующие ИОП работы из низкопаритетных переходят в разряд высоко паритетных и т.д. 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<sub>х</sub>П, выбираемых с помощью продукции вида:

ЕСЛИ {<параметры Т<sub>х</sub>П >} ТО {схема<номера схем>}.

Например: Если {<загрузка оборудования по деталие-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:

$$T = \max_{lqi} \{t_{lqi}^k\} \rightarrow \min, \text{ где } t_{lqi}^k - \text{ время окончания обработки } e\text{-й партии}$$

деталей на  $q$ -ой операции на  $i$ -ой 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<sub>х</sub>П по мощностям путем анализа номенклатуры выпускаемой продукции, что позволит в последующем избегать появления «узких» мест в производстве.

### Заключение

Указанные принципы и реализация на их основе моделей интеллектуальной организации АСУТП позволят адекватно отразить процессы планирования и управления Т<sub>х</sub>П и существенно повысить эффективность их работы. В настоящее время методика реализована на одном из предприятий [4].

### Список литературы

1. Вумек Джеймс П. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс П. Вумек, Дэниел Т. Джонс. – 7-е изд.; пер. с англ. – М.: Альпина Паблшер, 2013. – 472 с.
2. Палюх Б.В. Повышение эффективности управления технологическими подразделениями единичного и мелкосерийного производства / Б.В. Палюх, Г.Б. Бурдо // Вестник Донского ГТУ. 2009. №4. С. 659-665.
3. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. – М.: Финансы и статистика, Инфра-М, 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.

### References

1. James P. Womack, Daniel T. Jones Lean Thinking. Banish waste and create wealth in your corporation. – Moscow: Alpina Publisher, 2013. – 472 p.
2. Palyukh B.V., Burdo G.B. Improving the management efficiency of technological units of single and small-scale production // Bulletin of Don State Technical University. 2009, no. 4, pp. 659-665.

3. Rybina G.V. Fundamentals of building intelligent systems. – Moscow: Finance and statistics, Infra-M, 2010. – 432 p.
4. Hamatdinov R.T., Palyukh B.V., Burdo G.B. Management of production systems in geophysical instrumentation // Logger. 2009, no. 11(188), pp. 81-101.

<b>Бурдо Георгий Борисович</b> – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой	<b>Burdo Georgy Borisovich</b> – doctor of technical sciences, professor, head of department
<b>Испирян Нина Васильевна</b> – старший преподаватель	<b>Ispiryana Nina Vasil'evna</b> – senior lecturer
<b>Испирян Светлана Рафаиловна</b> – кандидат технических наук, доцент, доцент	<b>Ispiryana Svetlana Rafailovna</b> – candidate of technical sciences, associate professor
<b>Мединцев Станислав Викторович</b> – кандидат технических наук, старший преподаватель	<b>Medintsev Stanislav Viktorovich</b> – candidate of technical sciences, senior lecturer
ispirian-tstu@mail.ru	

*Received 19.09.2022*