



УДК 658:005.05: 519.859

### МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АСУТП ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Бурдо Г.Б. \*, Федотова А.В. \*\*

*\*Тверской государственной технической университет  
г. Тверь, Россия,  
gbtms@yandex.ru*

*\*\*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
г. Москва, Россия*

Приведена иерархическая структура интеллектуальной АСУТП, отражающая структуру процессов планирования и управления производственными подразделениями. Показаны основные подсистемы АСУТП. Приведены модели и алгоритмы работы подсистем объёмного, календарного и оперативного планирования, и диспетчирования. Охарактеризованы особенности предлагаемой АСУТП, определяющие её малую инерционность. Показаны способы формирования приоритетных схем обслуживания объектов, обеспечивающие возможность выбора оптимального в соответствии с установленным критерием.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы управления технологическими процессами, планирование, диспетчирование, наукоемкая продукция, искусственный интеллект, поддержка решений.

## Введение

Известно, что применение автоматизированных систем управления (АСУТП) технологическими процессами в многономенклатурном машиностроении затрудняется необходимостью корректировки планов всех уровней вследствие динамичной производственной ситуации и постоянным появлением новых контрактов.

Второй важной причиной, является проведение упрощенной технологической подготовки производства, при которой детально не расписываются технологические операции, и как следствие, имеются приближенные времена их выполнения.

Ситуация усугубляется для технологических процессов (ТП) с большой долей ручного труда, что приводит еще и к неопределенности времени выполнения неповторяющихся технологических операций.

К таким технологическим процессам, в частности, относятся сборка изделий, техническое обслуживание изделий и их ремонт, изготовление новых образцов наукоемкой продукции.

Ниже рассмотрена АСУТП на примере технического обслуживания авиационной техники,

позволяющая минимизировать воздействие перечисленных выше негативных факторов. В [Бурдо, 2010], [Бурдо, 2011, а] были представлены общие принципы создания АСУТП.

Структура автоматизированной системы управления процессами обслуживания авиационной техники, соответствующая им, показана на рисунке 1.

Иерархия подсистем АСУТП в силу системного принципа преемственности соответствует структуре производственных планов авиаремонтных предприятий, обратные связи между подсистемами обеспечивают возможность корректировки планов всех уровней, что обеспечивает их выполнимость.

## 1. Подсистемы АСУТП

### 1.1. Подсистема объёмного планирования

Подсистемой объёмного планирования синтезируются годовые планы работы организации без учета календарного времени выполнения каждого из контрактов.

Алгоритм работы подсистемы объёмного планирования (*ОбП*) итерационный (что соответствует логике человеческого мышления), и представлен следующими шагами:

*На первом шаге* оцениваются годовые мощности производственных подразделений (*ПП*),

выполняющих техническое обслуживание (ТО) авиатехники. Должно быть:

$$\sum_{i=1}^n (S_i \cdot T_i) \leq 0,8 \cdot S_{ПП} \cdot F_r \cdot N, \quad (1)$$

где  $S_i$  – площадь, занимаемая  $i$ -м обслуживаемым объектом;  $n$  – их количество;  $T_i$  – трудоемкости обслуживания  $i$ -го объекта, час;  $S_{ПП}$  – площадь производственных подразделений;  $F_r$  – номинальные годовые фонды времени работы ПП при односменной работе;  $N$  – число смен; 0,8 – коэффициент, учитывающий различие между трудоемкостью ТО и его циклом и необходимость наличия резервов.

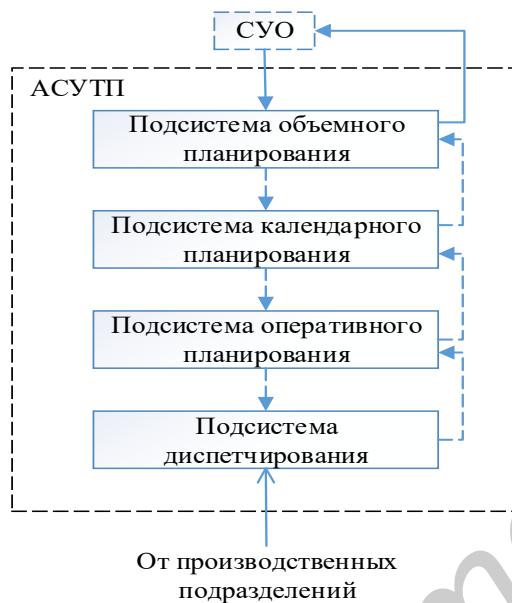


Рисунок 1 - Структура АСУТП: СУО – система управления организацией

$$T_i = \left( \sum_{j=1}^m t_{um.kj} \right)_i - \sum_{k=1}^c t_{um.k}^c \quad (2)$$

где  $t_{um.kj}$  – штучно-калькуляционное время выполнения  $j$ -ой операции над  $i$ -м объектом;  $\sum_{k=1}^c t_{um.k}^c$  – суммарное время совмещенных (параллельно-выполняемых во времени) операций ТО над  $i$ -м объектом,  $m$  – число операций.

Если неравенство (1) выполняется, то переходят к шагу 4 планирования, иначе переход к шагу 2.

На втором шаге итерационно выполняется корректировка ОБП и его согласование с СУО. Возможны следующие варианты. Первый – удаление из плана часто обслуживаемых изделий до выполнения формулы (1) по следующим приоритетным правилам.

Смысл всех приведенных ниже приоритетных правил направлен на попытку оставить в плане

максимальное число контрактов, то есть обеспечить организации получение максимального дохода.

Правило 1. Из плана следует исключить наименьшее число изделий, обеспечивающих выполнение условия (1).

Правило 2. При возможных альтернативных вариантах (при различии между производением  $S_i \cdot T_i$  для исключаемых из плана объектов до 10%) из плана ТО исключают объект, имеющий большее значение  $S_i$ .

Правило 3. Если различие между  $S_i$  для исключаемых объектов до 10%, то из плана ТО исключают объект, имеющий меньшую договорную цену обслуживания.

Правило 4. Из плана не исключаются объекты, ТО которых безоговорочно должно быть выполнено (приоритет организации).

Выявленные правила исключения отражают смысл работы организации и ПП: получить максимальный доход и создание предпосылок эффективной работы.

Если удается полностью откорректировать ОБП, то переход к шагу 4, иначе к шагу 3.

На третьем шаге выполняется попытка удовлетворить неравенства (1) путем увеличения фонда времени работы ПП за счет  $K$  дополнительных смен в течении года. Следует отметить, что данный шаг – прерогатива СУО, определяющей допустимое число дополнительных смен  $K_d$ .

Должно выполняться:

$$K_d \geq \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot T_i) - 0,8 \cdot S_{ПП} \cdot F_r}{8 \cdot S_{ПП}} = K, \quad (3)$$

где 8 – длительность смены в часах.

Если условие (3) удается удовлетворить, то переход к шагу 4, иначе возврат на шаг 2.

На четвертом шаге проводится проверка выполнимости работ исходя из общих фондов времени работы ремонтников, и по видам работ (при специализации видов работ за отдельными исполнителями).

Должны выполняться следующие условия:

По общему фонду времени работ:

$$\sum_{i=1}^n T_i \leq P \cdot F_p \cdot 0,8 \cdot N, \quad (4)$$

где  $P$  – общая численность рабочих, выполняющих техническое обслуживание;  $F_p$  – годовое время рабочего, час.

По фондам времени по отдельным видам работ для каждого из них  $m$  должно выполняться,  $m = \overline{1, B}$ :

$$\sum_{i=1}^n \left( \sum_{m=1}^1 t_{um.k_m} \right)_i \leq P_m \cdot F_p \cdot 0,8, \quad (5)$$

где  $P_m$  – общее число рабочих, выполняющих работу вида  $m$ ,  $m = \overline{1, B}$ .

Если рабочие, выполняющие ТО, специализируются на нескольких видах работ  $m$  ( $m=1, p$ ), то должно выполняться условие:

$$\sum_{i=1}^n \left( \sum_{m=1}^p t_{um.k_m} \right)_i \leq P_m \cdot F_p \cdot 0,8. \quad (6)$$

Если работа выполняется бригадами, то  $P_m$  – общее число бригад. Если условия (4) – (6) выполняются, то переход к подсистеме календарного планирования, иначе на шаг 5.

На пятом шаге проводится попытка выполнить неравенства (4) – (6) за счет введения дополнительных смен, при этом их число не может быть более  $K_d$  (см. описание шага 3).

Для случая (4):

$$K_d \geq \left( \sum_{i=1}^n T_i - P \cdot F_p \cdot 0,8 \right) / 8 = K. \quad (7)$$

Для случая (5):

$$K_d \geq \sum_{i=1}^n \left( \sum_{m=1}^1 t_{um.k_m} \right)_i - P_m \cdot F_p \cdot 0,8 / 8 = K. \quad (8)$$

Для случая (6):

$$K_d \geq \sum_{i=1}^n \left( \sum_{m=1}^p t_{um.k_m} \right)_i - P_m \cdot F_p \cdot 0,8 / 8 = K. \quad (9)$$

Для дальнейших расчетов принимается максимальное значение  $K$ , а если выполнялся шаг 3, то наибольшее значение (с учетом и полученного по формуле (3)).

Принципиально, возможно и увеличение суммарных фондов времени за счет увеличения численности работающих  $P$  и  $P_m$ . Однако, этот шаг в условиях рассматриваемых производственных систем не всегда реализуем из-за дефицита квалифицированных рабочих данного профиля и трудности прогнозирования последующих заказов.

Если условие выполняется, то переходят к подсистеме календарного планирования, иначе к шагу 6.

На шестом шаге производится исключение работ из годового объемного плана по следующим приоритетным правилам.

Правило 1. Из плана не исключается изделия, ТО которых должно быть безоговорочно выполнено.

Правило 2. Из плана следует исключать наименьшее число изделий.

Правило 3. Исключением из плана изделий сначала обеспечивают выполнение неравенства (9), затем (8) и в последнюю очередь – (7).

Правило 4. При возможных альтернативах (при различии в числе  $K$  не более 10%), исключают из плана объект, имеющий меньшую договорную цену обслуживания.

Возврат к шагу 4.

Указанные правила обеспечивают достаточно «точное» формирование ОбП и получение максимального дохода организации.

В целом, особенностью работы рассматриваемой подсистемы является достаточно высокая формальность правил выработки советующих управляющих воздействий, ясность процедур синтеза решений и проверка возможностей производственных подразделений не только по мощностям, но и по фондам времени работы рабочих.

Хотелось бы отметить и возможность использования на практике технического обслуживания такой возможности, как освоение работниками смежных видов работ, что создает высокую гибкость производственных систем (рисунок 2).

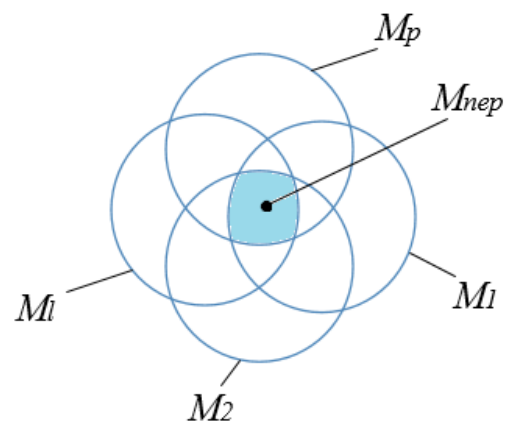


Рисунок 2 - Множества  $M_1, M_2, \dots, M_1, \dots, M_p$  видов работ по обслуживанию, выполняемых рабочими (бригадами) рабочих

В пределе, когда каждый рабочий (бригада) может выполнять любую работу, необходима проверка на шаге 4 лишь по формуле (4), а на шаге 5 – по (7).

Также будут упрощены и задачи, решаемые при календарном и оперативном планировании вследствие уменьшения числа анализируемых

вариантов, повысится производительность труда по причине сокращения времени перехода рабочих от одного к другому обслуживаемому объекту.

Поэтому, целевой функцией при подборе и обучении рабочих производственных подразделений может являться мощность пересечения

множеств видов работ, выполняемых рабочими (бригадами):  $M_{пер} \rightarrow max$ .

## 1.2. Подсистема календарного планирования

Работа подсистемы календарного планирования также осуществляется на ряде шагов.

На первом шаге выполняется предварительный набор заказов для первого календарного плана (обычно квартального). Формирование осуществляется исходя из более ранних сроков окончания работ по обслуживанию объектов и приоритетности заказов.

Набор заказов заканчивается при невозможности удовлетворить неравенство (1) при присоединении еще одного любого заказа. В формуле вместо значения  $F_2$  подставляется  $F_{кв}$  (квартальные фонд времени работы).

На втором шаге рассчитываются длительности технологических циклов выполнения работ по каждому  $i$ -му заказу:

$$C_i = T_i + \Pi_i \cdot T_{n.ср} + t_{он} \quad (10)$$

где  $\Pi_i$  – ожидаемое количество перерывов (ожиданий) при обслуживании  $i$ -го объекта;  $T_{n.ср}$  – среднее время перерыва,  $\Pi_i$  и  $T_{n.ср}$  определяются из опыта выполнения обслуживания;  $t_{он}$  – среднее время ожидания начала обслуживания, тратится на высвобождение рабочего места, установку нового объекта и подготовку к обслуживанию;  $T_i$  – см. расшифровку к формулам (1) и (2).

На третьем шаге выполняется размещение объектов по календарным срокам выполнения работ. При этом объекты делятся на 2 группы: 1-я – объекты с заданными предельными сроками; 2-я – объекты с окончанием работ в пределах всего календарного периода (рисунок 3).

На рисунке:  $S_1, S_2, S_{ин}$  – площади, занимаемые обслуживаемыми объектами,  $S_{III}$  – суммарная площадь производственных подразделений;  $C_1, C_2, C_m$  – технологические циклы обслуживания объектов;  $t_{ок1}, t_{ок2}$  – предельные сроки обслуживания 1-го и 2-го объектов. Как можно увидеть, для объектов 1-ой предусмотрен резерв времени.

К примеру,  $i$ -ый объект может быть обслужен в пределах всего календарного срока, его фактический цикл  $C_i^Ф$  разрывается на две части, при этом он больше  $C_i$  (см. формулу (10)) на величину  $t_{ож}$ . Такой подход обеспечивает более полное использование мощностей предприятия.

Для построения пространственно-временной структуры загрузки производственных подразделений используются алгоритмы, аналогичные алгоритмам листового раскроя материалов, на которые накладываются ограничения (в данном случае  $S_i$  и  $C_i$  ассоциируются с длиной и шириной заготовки,  $S_{III}$  и  $F_k$  – ширина листа) следующего вида.

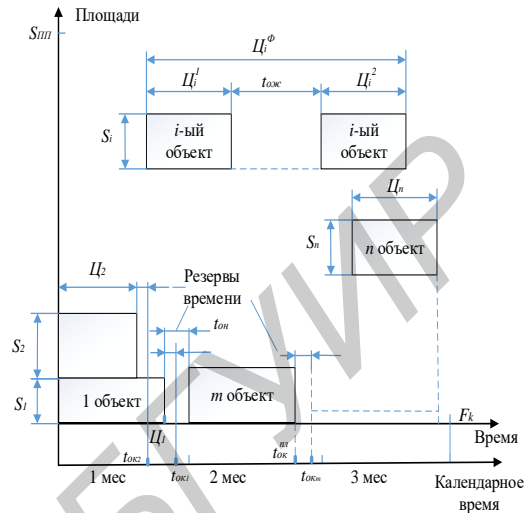


Рисунок 3 - Размещение обслуживаемых объектов в пространстве и во времени:  $t_{ок,m}^m, t_{ок,m}^m$  - директивные и планируемые сроки окончания работ

1. Если  $m$ -ый объект имеет оговоренные сроки завершения обслуживания  $t_{ок,m}$ , то оно должно быть завершено с опережением на  $l$  дней (обычно  $l = 2-3$  дня), т.е.  $t_{ок}^m - t_{ок,m} = 2-3$  дня.

2. Площадь, не закрытая объектами, не должна превышать 10% от общей.

3. Если условие 2 не удовлетворяется и остаются необслуженные объекты, то для объектов 2-ой группы выполняется разделение технологического цикла на этапы по следующим правилам.

**Правило 1.** Первыми разделение выполняют для объектов с наиболее длительным циклом.

**Правило 2.** Первым заполняется свободное рабочее место подходящей площади, расположенное наиболее близко к началу календарного периода (т.е. слева на рис.3).

**Правило 3.** Разделение цикла выполняют с обеспечением целостности операций (см. формулу (2) до приближения выделенной части цикла к длительности незанятости рабочего места.

Далее алгоритм распределения запускают вновь.

3. Если условие 2 удовлетворяется после разбиения циклов, и имеются необслуженные объекты, то переход к шагу 4.

4. Если условие 2 удовлетворяется, и не имеется необслуживаемых объектов, то переход к шагу 5.

5. Если условие 2 удовлетворяется и не имеется необслуженных объектов, то переход к шагу 6.

На четвертом шаге для обеспечения выполнимости планов анализируется возможность введения дополнительных смен, т.е. увеличение величины  $F_k$  (см. формулу (3),  $K_d$  берется в расчете на квартал). При отсутствии возможности заказы переносятся на следующий квартал. Переход к шагу 6.

На пятом шаге анализируется возможность обслуживания объектов из следующего календарного периода в данном.

Эти объекты относят ко 2-ой группе в данном календарном периоде. В этом случае из следующего календарного периода берутся объекты с более ранними сроками выполнения и возвращаются на шаг 2.

При корректировке пространственно-временной структуры на шаге 3 ранее запланированные объекты не трогаются, заполняются лишь свободные площади.

На шестом шаге выполняется проверка по фондам времени рабочих, выполняющих техническое обслуживание по каждому месяцу календарного плана.

Проверка выполняется по формулам, аналогичным (5) и (6), вместо расчетного годового времени подставляется фонд времени  $F_M$  (фонд времени за месяц периода календарного планирования).

Если планы выполнимы для всех месяцев, то переходят к подсистеме оперативного планирования, в противном случае выполняют попытки создать дополнительное число рабочих смен (см. формулы (8) и (9),  $K_d$  берется в расчете на месяц).

Если данное мероприятие удастся реализовать, то переходят к подсистеме оперативного планирования, иначе – к шагу 7.

На седьмом шаге выполняется выделение из месячного календарного плана обслуживания объектов до выполнения условия, оговоренного на предыдущем шаге, по следующим приоритетным правилам, и перенос их обслуживания на следующий месяц.

**Правило 1.** Из плана не выделяются объекты 1-й группы (с жестко оговоренным сроком окончания обслуживания).

**Правило 2.** Выделение начинают с объекта, имеющего минимальную трудоемкость обслуживания.

**Правило 3.** Если невозможно удовлетворить условиям (см. шаг 6) выделением одного объекта, то переходят к выделению второго и т.д. При удовлетворении условий - возврат на шаг 3.

### 1.3. Подсистема оперативного планирования

Синтезированные месячные календарные планы работ служат основой для оперативного планирования и управления работой

технологического подразделения, выполняющего техническое обслуживание.

С этой целью покажем формальную постановку задачи составления календарного плана-графика (расписания) работы подразделения, в котором выполняются техническое обслуживание. Постановка сделана на основе работ [Бурдо, 2011, а], [Прилуцкий и др., 2008], [Смоляр, 1988], [Прилуцкий, 2007].

Календарные планы-графики (КПГ) разрабатываются на интервалы оперативного планирования (ИОП), равные 5 календарным дням. Таким образом, месячный календарный план работ должен быть представлен, как совокупность КПГ.

Пусть задано подразделение, выполняющее ТО с установившимся режимом работы. В подразделении должно быть выполнено ТО некоторого множества объектов  $O = \{O_i\}$ ,  $i = \overline{1, d}$ ;  $d$  – количество объектов.

По каждому из объектов должна быть выполнена процедура  $PP_i$ . Каждая процедура  $PP_i$  состоит из множества операций  $\{OP_{ij}\}$ ,  $j = \overline{1, m_i}$ , где  $m_i$  – количество операций обслуживания  $i$ -го объекта.

Каждой операции  $OP_{ij}$  присваивается индекс  $k$  из множества  $\{1, 2, \dots, l\}$ , характеризующий вид выполняемой работы в операции (вид операции), т.е.  $PP_i = \{OP_{ijk}\}$ .

Каждая операция характеризуется трудоемкостью ее выполнения, равной штучно-калькуляционному времени ее выполнения  $T_{ij} = t_{шт.к.ij}$ .

Обслуживание выполняется множеством  $R$  бригад рабочих,  $R = \{r_m\}$ ;  $m = \overline{1, c}$ , где  $c$  – количество бригад. Каждая бригада  $r_m$  выполняет  $p$  операций  $OP_m^r$  определенного вида.

$$OP_m^r = \{OP_{mn}^r\}; m = \overline{1, c}; n = \overline{1, l^r}, \quad (11)$$

где  $l^r$  – множество видов операций, выполняемых бригадой.

Должно быть для обеспечения выполнимости операций  $\{OP_{ijk}\}$  выдержано условие, означающее, что все виды операций могут быть выполнены исполнителями:

$$[G = U(1, 2, \dots, l)] \subset G^r = \cup(1, 2, \dots, l^r). \quad (12)$$

Порядок следования операций  $\{OP_{ijk}\}$  в процедуре  $PP_i$  задается следующим образом: Задаются булевы переменные  $\alpha$  и  $\beta$ . Для  $\{OP_{ijk}\}$ :

$$\alpha_j = \begin{cases} 0, & \text{если операция независима и может выполняться} \\ & \text{в любом месте процедуры, в т.ч. параллельно с другими;} \\ 1, & \text{если порядок следования оговаривается.} \end{cases}$$

Для двух операций  $j'$  и  $j''$  с  $\alpha_{j'}=1$  и  $\alpha_{j''}=1$  значение

$$\beta_{j',j''} = \begin{cases} 0, & \text{если операции могут выполняться параллельно,} \\ 1, & \text{если операция } j' \text{ предшествует операции } j'' \\ & (\text{операции несовместимы во времени}). \end{cases}$$

Ограничения на формируемый КПП, следующие:

1. Непрерывность выполнения работы над объектом. Для этой цели времена начала  $t_{ij}^o$  и окончания  $t_{ij}^k$  работы на ОП<sub>ijk</sub> связываются соотношением:  $t_{ij}^k = t_{ij}^o + T_{ij}$ .

2. Невозможность параллельного выполнения на одном объекте несовместимых работ, т.е. для них условие:  $t_{ij''}^k \geq t_{ij'}^k$ , операция  $j'$  предшествует  $j''$ , (операции не совместимы). Это новое ограничение по сравнению с известным.

3. Невозможность проведения одновременного числа операций большего, чем число бригад, т.е. для любого множества операций  $\{ОП_{ij}\} = \{ОП_{ij}, \dots, ОП_{ij'}\}$  условие  $t_{ij}^o \leq t_{ij'}^o \leq t_{ij}^k$  не может выполняться более  $c$  раз ( $c$  – число бригад).

4. Невозможность одновременного проведения операций одинаковых видов большего, чем число специализированных для этих операций бригад. Для учета этого ограничения введем переменную:

$$X_{ijl} = \begin{cases} 1, & \text{если вид технологической операции ОП}_{ijk} \\ & \text{совпадает с видом операции,} \\ & \text{выполняемых рабочими ОП}_{mn}^l, \text{ т.е. } k=n, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

В любой момент времени работы подразделения  $t_{ij}^o \leq t \leq t_{ij}^k \sum X_{ijl} \leq B$ , где  $B$  – число бригад, которые могут выполнять работу группы  $n$ .

5. Учитывая, что, как правило, реальная производственная ситуация, складывающаяся в ПП, динамична и не всегда формальна, введем ряд ограничений – приоритетов, отражающих текущее состояние подразделений и директивы управленческого персонала.

В общем виде его можно сформулировать так: на объекте с более высоким приоритетом в первую очередь выполняется операция свободившейся бригадой, т.е.  $t_{ijk}^o < t_{i'jk}^o$ , если приоритет объекта  $i$  выше  $i'$ . Это новое ограничение по сравнению с известными постановками.

Применение приоритетов во многом упрощает алгоритмы построения КПП.

Требуется построить  $КПП = \{t_{ijk}^o\}$ , отвечающий ограничениям, перечисленным выше. В качестве целевой функции выступает общий минимальный цикл технического обслуживания всех объектов,  $T_o$ :

$$T_o = \max_{ijk} \{t_{ijk}^o\} \rightarrow \min. \quad (13)$$

Генерация КПП выполняется на основе известного аналитико-приоритетного метода с использованием пошаговых процедур (имитации) выполнения операций ТО над объектами [Прилуцкий, 2007], [Прилуцкий и др., 1997], [Султан-Заде и др., 1996], [Танаев и др., 1975], [Блехерман, 1979].

В качестве правил, определяющих приоритеты обслуживаемых объектов, могут быть следующие [Бурдо, 2011,b]:

1. Установление приоритетов объектов руководителем подразделения. В этом случае каждому объекту присваивается ранг, скажем цифрами от 1 до  $d$ , где  $d$  – общее число объектов.

Для получения вариантов КПП, и учитывая, что на объекте может быть выполнено одной и той же бригадой несколько работ, то следует в одном варианте предусмотреть дополнительный приоритет выполнения операции максимальной трудоемкости, а во втором – минимальной.

2. Установление приоритетов нескольким объектам, остальные имеют приоритеты ниже первых. Для них приоритеты могут быть установлены следующим образом, определяющим два варианта возможных КПП.

2.1. Первым освободившейся бригадой обслуживается объект с минимальной остаточной суммарной трудоемкостью, т.е. этот объект имеет максимальный приоритет. Этот приоритет исходит из посылки, что лучше быстрее заканчивать ТО тех объектов, которые имеют меньший объем остаточных работ.

2.2. Второй приоритет имеет противоположный смысл, чтобы охватить две крайние ситуации. Его смысл – выровнять объекты проведенного ТО по всем объектам: первым освободившейся бригадой выполняется обслуживание объекта с максимальной остаточной суммарной трудоемкостью операций.

Учитывая, что по наиболее приоритетному объекту может быть выполнено несколько операций, то смыслу приоритетов будет отвечать выбор операции максимальной трудоемкости.

3. Если приоритеты обслуживания не назначаются руководством подразделения, то по вышеприведенным правилам приоритеты назначаются для всех объектов.

#### 1.4. Подсистема диспетчирования

Диспетчирование работ осуществляется путем контроля за ходом технического обслуживания объектов сравнением плановых и фактических времен окончания операций, т.е. при этом анализируются следующие данные:

1. Отставания (опережение) выполнения КПП по подразделению, час;
2. Изменения отставания (опережения) КПП в данном ИОП по сравнению с предыдущим (т.е. тенденция изменения), час/ смена;
3. Фактические и действительные фонды времени выполняющих обслуживание рабочих (бригад);
4. Расчетные нормы и фактические времена выполнения операций обслуживания, час;
5. Расчетный и фактический коэффициенты параллельного по времени выполнения операций, %.

Продукционными моделями (в силу громоздкости не приводятся) на основе указанных данных вырабатываются варианты управленческих решений по приведению фактических КПП к расчетным, в т.ч. и пересчет ранее сформированных КПП и календарных планов.

#### Заключение

Предложенная АСУТП разрабатывалась, как «советующая», помогающая оперативно принимать решения на всех уровнях планирования, и имеющая элементы искусственного интеллекта.

Её первой отличительной особенностью от известных систем класса «Scada» и ERP [Балахонов и др., 2006] является реализация оперативной связи между планами всех уровней и возможность их комплексного пересчета при появлении новых заказов (заключение контрактов в течении года) с различными приоритетами.

Второй чертой - высокая степень формальности процедур, и как следствие, точность рекомендуемых решений.

Третьей – возможность обучения путем анализа расчетных норм и фактических времен выполнения операций, и расчетного и фактического коэффициентов параллельного по времени выполнения операций.

При доработке, АСУТП может быть реализована в качестве системы поддержки решений на различных предприятиях многоименчатого машиностроения, занимающихся обслуживанием, ремонтом и сборкой наукоемких изделий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-01-00324.

#### Библиографический список

- [Бурдо, 2010] Бурдо, Г.Б. Принципы построения автоматизированной системы управления технологическими процессами в многоименчатых производствах / Г.Б. Бурдо // Вестник Саратовского государственного технического университета. - 2010. - №3(48). - С.113-118.
- [Бурдо, 2011, а] Бурдо, Г.Б. Интеллектуальные процедуры планирования и управления в производственных системах геофизического приборостроения/ Г.Б. Бурдо // Программные продукты и системы. - 2011. - №3(95). - С.107-110.
- [Прилуцкий и др., 2008] Прилуцкий, М.Х., Власов, В.С. Метод ветвей и границ с эвристическими оценками для конвейерной задачи теории расписаний/ М.Х. Прилуцкий, В.С. Власов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. - №3. - С.143-157.
- [Смоляр, 1988] Смоляр Л.И. Модели оперативного планирования в дискретном производстве. М.: Наука, 1988. - 320 с.
- [Бурдо, 2011, б] Бурдо, Г.Б. Оперативное планирование на основе приоритетных схем в производственных системах геофизического приборостроения/ Г.Б. Бурдо // Каротажник. - 2011. - №6 (204). - С. 92-100.
- [Прилуцкий, 2007] Прилуцкий, М.Х. Многокритериальные многоиндексные задачи объемно-календарного планирования/ М.Х. Прилуцкий // Известия АН. Теория и системы управления. - 2007. - №1. - С.78-82.
- [Прилуцкий и др., 1997] Прилуцкий, М.Х. Метод декомпозиции для решения комбинаторных задач упорядочения и распределения ресурсов / М.Х. Прилуцкий, Д.И. Батищев, Э.Д. Гудман, И.П. Норенков // Информационные технологии. 1997. №1. С.29-33.
- [Султан-Заде и др., 1996] Султан-заде, Н.М. Повышение производительности ГПС путем оптимизации расписаний / Н.М. Султан-заде, Р.Р. Загидуллин. М.: СТИН, 1996. №12. С.9-13.
- [Танаев и др., 1975] Танаев, В.С. Введение в теорию расписаний / В.С. Танаев, В.В. Шкурба. М.: - Наука, 1975. 256 с.
- [Блехерман, 1979] Блехерман, М.Х. Оптимизация загрузки оборудования автоматизированных участков из станков с ЧПУ/Блехерман М.Х. // Станки и инструмент. -1979. -№ 5. - с. 3-5.
- [Балахонов и др., 2006] Балахонова, И.В., Волчков, С.А., Капитуров, В.А. Интеграция процессов с помощью ERP-системы. - СПб.: Приоритет, 2006.-464 с.

#### MODEL OF INTELLIGENT PROCESS CONTROL SYSTEMS MAINTENANCE

Burdo G.B. \*, Fedotova A.V.\*\*

\*Tver State Technical University (TvSTU),  
Tver, Russia  
gbtms@yandex.ru

\*\*Moscow Bauman state technical University  
Moscow, Russia

Given the hierarchical structure of intelligent control system, reflecting the structure of the processes of planning and management of production units. Shows the main subsystems of APCS. Given the model and the algorithms used in the subsystem volume, calendar and operational planning and scheduling. Outlines the main features of the proposed control system governing low inertia. The methods of forming the priority schemes of service objects that provide the variability of the calculations and choice of optimal in accordance with the established criterion.

## Introduction

It is known that the use of automated control systems (process control systems) of technological processes in multiproduct engineering hampered by the necessity of adjusting the plans of all levels due to rapid industrial situation and the constant emergence of new contracts.

The situation is exacerbated for technological processes (TP) with a great deal of manual labor, which leads to uncertainty of run-time non-recurring operations. Below we discuss process control systems technical maintenance of aircraft equipment, allowing to minimize the impact of the above negative factors. In [Burdo, 2010], [Burdo, 2011, 1] were presented the General principles of creation of automated control systems.

The structure of automated control system of processes of aircraft maintenance, the corresponding shown in Fig. 1. The hierarchy of subsystems of automated control systems in power system the principle of continuity corresponds to the structure of the production plans of the aircraft repair enterprises of feedback between subsystems provide the ability to adjust plans at all levels, which ensures their feasibility.

## Main Part

The main problems encountered when using the automated control systems of technological processes (ACSTP) in multiproduct production, which often are part of the production system of enterprises, producing high technology products, due to the high dynamism of the situation in the companies.

This is due to the constant emergence of new contracts during the calendar year, resulting in the adjustment of production plans of enterprises; the approximation of technical regulation because of deficiency of time for technological training, leading to inaccuracies operational planning. In the authors' opinion, the proposed automated control system of technological processes (for example, technical maintenance of aircraft) is devoid of these shortcomings.

This is due to the following factors. The hierarchical structure of ACSTP reflects the hierarchy of the production plans of the enterprise, and presents subsystems, volume, calendar, operational planning and scheduling. Process control systems, as a system in whole, the information associated with the management system of the organization and is its subsystem. To ensure the scheduling, communication and implemented with the operations.

All the subsystems of the process control information and connected, it is possible to correct all types of plans. Planning is accomplished through the use of iterative procedures, obespechivaushyi "thin" the fulfillment of production plans, it is possible due to the feedbacks adjusting production plans of higher levels, which ensures their feasibility.

When the production planning provides for local capacity reserves and funds operating time, the measures for the use of their reserves. The subsystem of operational planning, ending the scheduling of production units based on the relative priority method.

Shows refined problem statement of the schedule of the production unit, particularly associated with the performance of work groups of workers and the use of priority schemes of service. Identified and the methods of forming the priority schemes of service objects that provide a variety of calculations and possibility of a choice of optimum in accordance with the established criterion.

In refining, process control systems can be implemented as a support system solutions for various enterprises diversified engineering, servicing, repair and Assembly of high technology products.

## Conclusion

In the The proposed control system was developed as an "advising" to help make decisions quickly at all levels of planning, and has elements of artificial intelligence. Its first distinguishing feature of known class systems Scada and ERP [Balakhonov et al., 2006] is the implementation of operational links between plans at all levels and a comprehensive recalculation of new orders (contracts during the year) with different priorities.

The second feature is the high degree of formality of procedures, and as a result, the accuracy of the recommended solutions.

Third – the possibility of learning through the analysis of the calculation rules and actual lead times operations and the design and actual factors of the parallel execution time of operations. In refining, process control systems can be implemented as support systems solutions on various diversified engineering companies engaged in servicing, repairing and Assembly of high technology products.

The work is executed at financial support of RFBR, project № 14-01-00324.