

## **Анализ программы выпуска и разработка технологической схемы производства на ранних этапах проектирования технологического комплекса**

**77-48211/506091**

**# 11, ноябрь 2012**

**Галий В. В.**

УДК 621.01

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[galiy\\_vv@mail.ru](mailto:galiy_vv@mail.ru)

В настоящее время актуальными являются задачи проектирования новых технологических комплексов (ТК) и реконструкции существующих. В современном экономическом состоянии возникает необходимость проектировать производственные системы очень часто, быстро, и что самое главное желательнее более точно. При этом главная задача любого предприятия – это выпуск конкурентоспособной продукции: необходимого количества с минимальными затратами. Технологическое проектирование отличается сложностью, вариантностью и большой трудоемкостью. Сложность решаемых задач объясняется не только объемом (от выбора совокупности и порядка выполнения технологических операций до определения содержания рабочих ходов), но и наличием разветвленных и разнообразных связей элементов технологических объектов. Причем для каждого такого элемента может быть выбрано несколько вариантов его выполнения. Время на проектирование и его результат зависят в первую очередь от применяемой методики проектирования.

Методика проектирования технологических комплексов машиностроительного производства сложная, многоэтапная и складывалась годами. Несмотря на то, что основой для проектирования механических цехов является производственная программа предприятия, комплексному анализу производственной программы, одному из важнейших этапов проектирования ТК в современных методиках уделяется недопустимо мало внимания или просто он отсутствует.

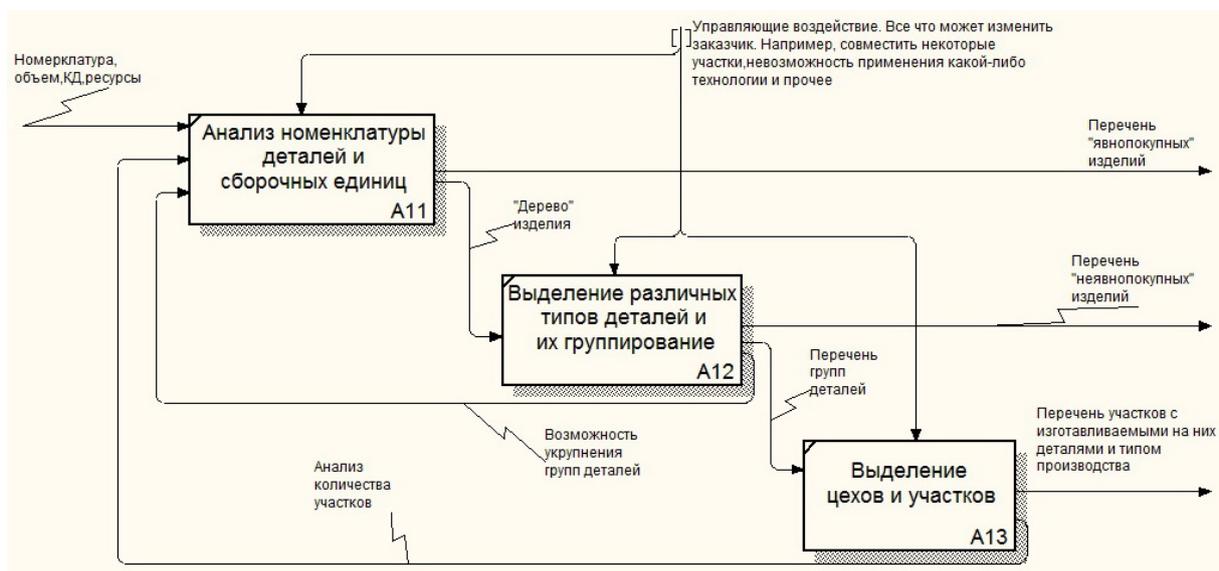
Анализ производственной программы выпуска позволяет не только выделить детали и сборочные единицы, которые целесообразно закупать или изготавливать по кооперации, но позволит построить в первом приближении технологическую схему производства.

При использовании традиционных методик проектирования технологическую схему производства определяют при разработке генерального плана, одного из последних этапов проектирования. Фактически технологическую схему производства формируют, исходя из технологических процессов (ТП), которые реализованы в

проектируемом предприятии. Но проектирование самих этих ТП производится без учета влияния их друг на друга. Целесообразней построить технологическую схему на более ранних этапах проектирования, еще до разработки технологических процессов изготовления деталей, чтобы понимать структурную связь между подразделениями. Построив такую схему можно разрабатывать технологические процессы с учетом структурных связей между подразделениями, а не обособленно.

Производить анализ производственной программы цеха необходимо перед этапом разработки технологических процессов изготовления деталей. Результатом такого анализа должен стать перечень участков с программами выпуска деталей на каждом и определенным типом производства.

На рис.1 представлена последовательность формирования перечня участков, представленная в формате IDEF0:



**Рис. 1 Анализ программы выпуска предметов труда (IDEF0)**

На этапе «Анализа номенклатуры деталей и сборочных единиц» строится конструкторское дерево изделия (или изделий). Для построения дерева используются главным образом спецификации. После построения конструкторского дерева, формируется перечень деталей и сборочных единиц, входящих в изделие и список деталей входящих в сборочные единицы. Производится анализ на предмет выявления покупных изделий. К таким изделиям относятся изделия раздела спецификации «Стандартные изделия» (гайки, болты и прочие) и раздела «Прочие изделия», куда вносят изделия, примененные по техническим условиям, и импортные покупные изделия, примененные по сопроводительной технической документации зарубежных изготовителей (поставщиков). Выходной информацией для этого этапа будет:

- Перечень «Явнопокупных изделий», то есть перечень деталей и сборочных единиц, которые подлежат закупке.
- Конструкторское «дерево» изделия (изделий), с указанием числа деталей, подлежащих изготовлению для всей производственной программы ТК.

На этапе «Выделения различных типов деталей и их группирования» детали делятся на группы по различным признакам: по типу и марке материала заготовки, типу заготовки, по габаритным размерам, по параметрам точности, заданными минимальным значением шероховатости и качества точности. На этом этапе происходит объединение деталей в более крупные группы. Процесс может иметь несколько итераций, для этого предусмотрена обратная связь с этапом А11 «Анализ номенклатуры деталей и сборочных единиц». После формирования групп, необходимо проанализировать этот перечень и выявить детали или группы деталей, которые нецелесообразно изготавливать на проектируемом ТК. Поскольку имеется возможность сортировки деталей по типу применяемых заготовок, то необходимо оценить в первом приближении потребность предприятия в заготовительных цехах. Нужно определить перечень деталей, для которых заготовки будут изготавливаться по кооперации и перечень деталей, которые можно полностью изготавливать на других предприятиях. Основной задачей этого этапа является – формирование групп деталей, которые фактически будут являться программами выпуска производственных участков проектируемого предприятия. Выходными данными из этого этапа являются:

- Перечень «Неявнопокупных изделий», то есть изделий, которые ввиду целесообразности необходимо изготавливать на других предприятиях по кооперации.
- Перечень групп деталей, которые подлежат изготовлению на проектируемом ТК.

На этапе «Выделения цехов и участков» анализируется перечень групп деталей, полученный с прошлого этапа, выделяются участки изготовления деталей. Для каждого участка определяется тип производства. После формирования перечня участков происходит формирование цехов. Цеха формируются предварительно только на основе данных о типе производства участков. Фактически происходит группирование участков с одинаковым типом производства. Участки будут сгруппированы в несколько цехов. Для каждого цеха за счет одинаковых типов производства участков будет произведено формирование транспортной, складской систем и прочих служб с близкими решаемыми задачами. Формирование этих систем будет производиться на более поздних этапах проектирования. При неудовлетворительных результатах формирования перечня участков (слишком большое количество), предусмотрена обратная связь для связи с этапом А11 «Анализа номенклатуры деталей и сборочных единиц». В этом случае необходимо проанализировать перечень изготавливаемых деталей в соответствии с поправкой на то, что некоторые детали (или группы деталей), которые при анализе групп деталей выделяются в отдельные участки, можно покупать у других производителей, то есть отказаться изготавливать часть деталей, либо провести укрупнение групп, с учетом результатов анализа перечня участков.

Выходной информацией этапа является:

- Перечень участков с изготавливаемыми на них деталями с типом используемого оборудования и формы организации производства.

Используя сформированный перечень участков и цехов можно построить технологическую схему производства, а потом уже приступить к разработке технологических процессов.

На этапе «Анализ номенклатуры предметов труда» необходимо произвести группирование деталей. Для группирования деталей по различным признакам разработаны различные классификаторы. Задачу анализа номенклатуры деталей по их конструктивно-технологическим признакам [2] решает технологический классификатор деталей (ТКД), но в технологическом классификаторе есть поля, которые не могут быть определены на ранних этапах проектирования, а могут быть только известны при наличии технологического процесса изготовления деталей. Поскольку этап группирования стоит до проектирования ТП изготовления деталей, то использование технологического классификатора в полной мере не представляется целесообразным. При группировании предлагается использовать не такую точную классификацию, как в ТКД (14 признаков). Каждую из деталей в проектируемом ТК можно представлять в следующем виде:

$$D = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \\ d_7 \\ d_8 \\ d_9 \\ d_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{"№ чертежа"} \\ \text{"Название"} \\ \text{"Количество"} \\ \text{"Марка материала"} \\ \text{"Тип заготовки"} \\ A(D) \\ B(L) \\ C(S) \\ \Gamma_{\min} \\ R_{\min} \end{pmatrix}$$

Все атрибуты, кроме атрибута  $d_3$  (количество деталей), определяются из чертежа детали. Атрибуты  $d_5, d_6, d_7$  – характеризуют габариты детали:

- $A, B, C$  – размеры по трем измерениям для корпусных деталей;
- $D, L$  – диаметр и длина детали для тел вращения;
- $S$  – толщина металла для деталей из листового материала.

Атрибуты  $d_9, d_{10}$  – характеризуют наиболее ответственные поверхности детали по качеству точности и шероховатости.

Сборочные единицы, которые входят в изделие, можно также представить в виде матрицы  $D$ . Некоторые атрибуты такие как: «Марка материала» или «Тип заготовки» будут равны «0», а при отсутствии совместной обработки еще и атрибуты « $\Gamma_{\min}$ » и « $R_{\min}$ ».

Программу выпуска ( $A$ ) всех деталей технологического комплекса можно представить в следующем виде:

$$A = \begin{pmatrix} D_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ D_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{101} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{1N} & \cdots & d_{10N} \end{pmatrix}$$

$N$  – номенклатура изготавливаемых деталей.

При группировании деталей по типу заготовок необходимо использовать только атрибут  $d_5$ , тип заготовки, который задал конструктор. Все остальные атрибуты не учитываются при группировании.

$$A \begin{pmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_N \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{Преобразование на группы по типу заготовки}} \begin{pmatrix} B_0 \\ B_1 \\ \vdots \\ B_K \end{pmatrix} = \begin{cases} B_0 \\ B_1 \begin{pmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_a \end{pmatrix} \\ \vdots \\ B_K \begin{pmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_z \end{pmatrix} \end{cases} = \begin{cases} B_0 \\ B_1 \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{51} & \dots & d_{101} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ d_{1a} & \dots & d_{5a} & \dots & d_{10a} \end{pmatrix} \\ \vdots \\ B_K \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{51} & \dots & d_{101} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ d_{1z} & \dots & d_{5z} & \dots & d_{10z} \end{pmatrix} \end{cases}$$

После группирования должны получиться группы деталей ( $B_1...B_K$ ), где  $K$  – количество групп. В каждой группе  $a..z$  деталей соответственно, и для каждой из которых справедливо равенство по атрибуту  $d_5$ . Для группы  $B_1$ :

$$d_{51} = d_{52} = \dots = d_{5a}$$

В группу деталей  $B_0$  входят унифицированные детали и сборочные единицы. Информацию о них можно получить из конструкторской документации – спецификаций: в разделе «Покупные изделия» и «Стандартные изделия».

Дальнейший анализ групп деталей происходит без учета стандартных и покупных деталей.

Следующий этап группирования деталей проводят внутри каждой группы ( $B_1...B_K$ ), используя атрибуты  $d_6, d_7, d_8$ . Для каждого из значений при общей сортировке задаётся диапазон, в пределах которого варьируется каждый из параметров. Значения параметров задаются для всех групп, исходя из технологических возможностей станков. Например, для группы деталей тел вращения целесообразно задавать по атрибуту  $D=[5..220)$  мм,  $L=[10.. 750)$  мм. Данные взяты для токарно-винторезного станка 16К20.

Для каждого атрибута будет справедливо условие:

$$\begin{aligned} d_6 &\in [x_6; x_6 + \Delta_6 \cdot M) \\ d_7 &\in [y_7; y_7 + \Delta_7 \cdot M) \\ d_8 &\in [z_8; z_8 + \Delta_8 \cdot M) \end{aligned}$$

Где  $x_6, y_7, z_8$  – начальные значения для соответствующих атрибутов. Для первого приближения можно не задавать границы для каждой группы, а воспользоваться шагом приращения по каждому из параметров ( $\Delta_6, \Delta_7, \Delta_8$ ), который задается вручную.  $K$  – порядковый номер группы.

Группирование по габаритам происходит внутри каждой из групп деталей ( $B_1...B_K$ ). Для любой из групп  $B_K$  в общем случае будет справедливо:

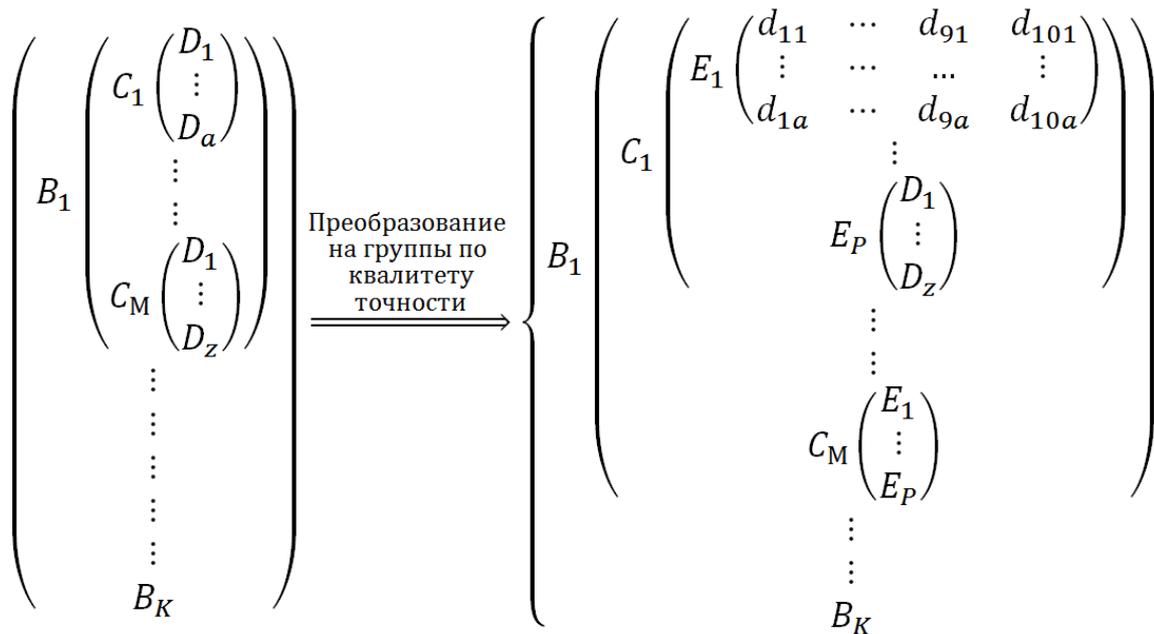
$$\begin{aligned}
 d_6 &\in [x_6; x_6 + \Delta_6 \cdot M) \\
 d_7 &\in [y_7; y_7 + \Delta_7 \cdot M) \\
 d_8 &\in [z_8; z_8 + \Delta_8 \cdot M)
 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} B_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ B_K \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{Преобразование на группы по габаритам деталей}} \left\{ \begin{array}{l} B_1 \left( \begin{array}{l} C_1 \left( \begin{array}{l} d_{11} \quad \dots \quad d_5 \quad d_{61} \quad d_7 \quad d_8 \quad \dots \quad d_{101} \\ \vdots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \vdots \\ d_{1a} \quad \dots \quad d_{5a} \quad d_{6a} \quad d_{7a} \quad d_{8a} \quad \dots \quad d_{10a} \end{array} \right) \\ \vdots \\ C_M \left( \begin{array}{l} d_{11} \quad \dots \quad d_5 \quad d_{61} \quad d_7 \quad d_8 \quad \dots \quad d_{101} \\ \vdots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \vdots \\ d_{1a} \quad \dots \quad d_{5a} \quad d_{6a} \quad d_{7a} \quad d_{8a} \quad \dots \quad d_{10a} \end{array} \right) \\ \vdots \\ B_K \end{array} \right.
 \end{array}$$

Количество групп ( $C_1 \dots C_M$ ) отличается для каждой подгруппы более высокого уровня, то есть для каждой группы уровня  $B$  соответствует свой набор из ( $C_1 \dots C_M$ ) по количеству групп  $M$ . Для атрибутов  $d_6, d_7, d_8$  любой из групп должно выполняться условие:

$$C_M \left\{ \begin{array}{l} \begin{pmatrix} d_{61} \\ \vdots \\ d_{6a} \end{pmatrix} \in [x_6; x_6 + \Delta_6 \cdot M) \\ \begin{pmatrix} d_{71} \\ \vdots \\ d_{7a} \end{pmatrix} \in [y_7; y_7 + \Delta_7 \cdot M) \\ \begin{pmatrix} d_{81} \\ \vdots \\ d_{8a} \end{pmatrix} \in [z_8; z_8 + \Delta_8 \cdot M) \end{array} \right.$$

После группирования деталей по марке материала и габаритам, при необходимости можно сгруппировать детали по показателям точности: качеству точности (IT) и параметру шероховатости (Ra). В некоторых случаях, так как все-таки данные параметры имеют связь, допустимо группирование только по одному из них. При группировании по качеству точности внутри каждой из групп ( $C_1 \dots C_M$ ) получим перечень групп ( $E_1 \dots E_P$ ):



Так в каждой группе для атрибута  $d_9$ , характеризующего качество точности, должно выполняться условие:

$$d_{91} = d_{92} = \dots = d_{9a}$$

Начальное значение для атрибута  $d_9$  принимаем как минимальный уровень качества точности для всей группы деталей:

$$IT_{minE_p} = \min\{d_{91} \dots d_{9a}\}$$

Вторая граница для атрибута  $d_9$  может быть определена, как 14 уровней качества точности. Данный уровень качества точности соответствует черновой механической обработке [1]. Итого количество групп  $E$  можно определить как:

$$P = 14 - IT_{minE_p}$$

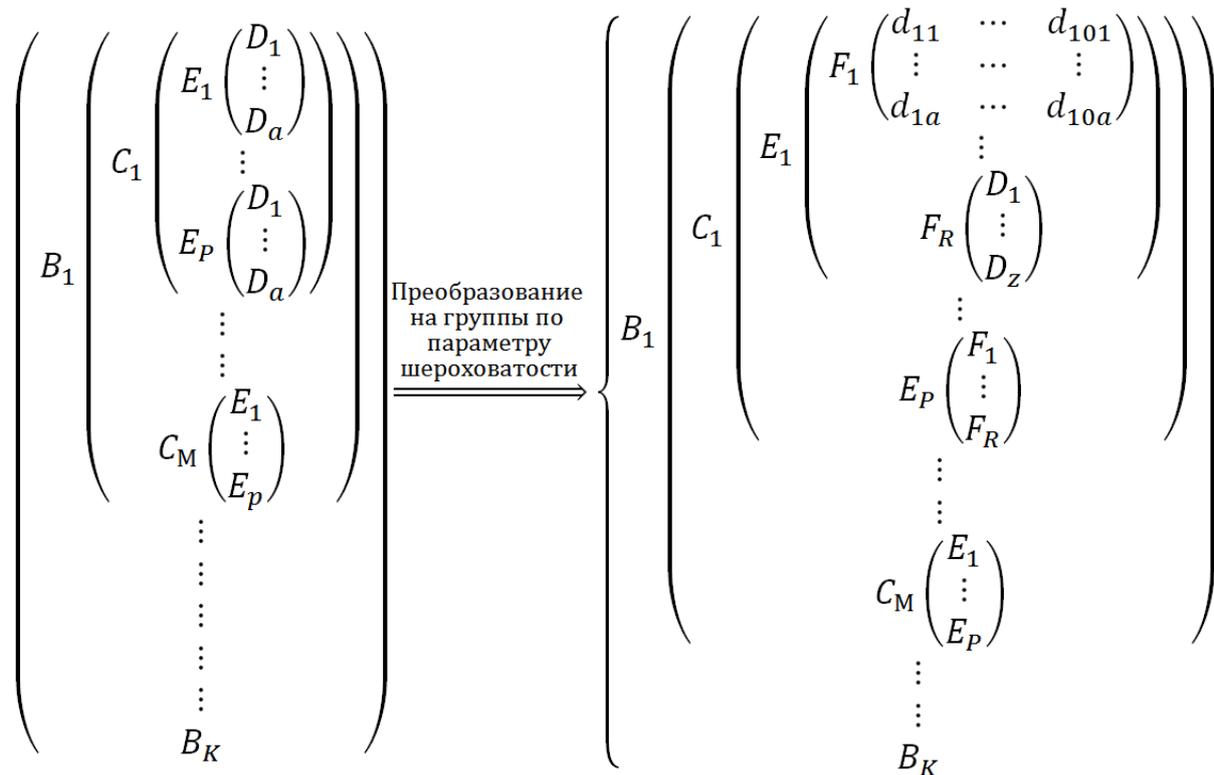
Если есть целесообразность сортировать детали не по каждому уровню качества точности, а по диапазону уровня качества точности, тогда диапазон можно задать через приращение уровня качества точности  $\Delta_{IT}$  (задается вручную натуральным числом). Количество групп с округлением до ближайшего большего числа можно определить как:

$$P = \frac{14 - IT_{minE_p}}{\Delta_{IT}}$$

Тогда для каждой группы уровня  $(C_1 \dots C_M)$  должно выполняться условие:

$$E_p \rightarrow \begin{pmatrix} d_{91} \\ \vdots \\ d_{9a} \end{pmatrix} \in [IT_{minE_p}; x_6 + \Delta_{IT} \cdot P)$$

При группировании деталей по шероховатости, если это необходимо, внутри каждой из групп  $(E_1 \dots E_P)$  получим перечень групп  $(F_1 \dots F_R)$ :



В каждой группе для атрибута  $d_{10}$ , характеризующего качество параметр шероховатости, должно выполняться условие:

$$d_{101}=d_{102}= \dots = d_{10a}$$

Начальное значение атрибута  $d_{10}$ , как и в случае с качеством точности, принимаем как минимальное значение шероховатости для анализируемой группы деталей уровня  $E$ :

$$Ra_{minFr} = \min\{d_{101} \dots d_{10a}\}$$

Вторая граница для атрибута  $d_9$  может быть определена, как  $Ra=25$  мкм. Данное значение шероховатости соответствует черновой механической обработке [1]. Для сортировки детали на группы по параметру шероховатости, можно воспользоваться значениями из стандартного ряда. Диапазон в этом случае можно задать, как приращение не по значению шероховатости, а по классу ( $\Delta Ra$ ).

Тогда для каждой группы уровня ( $E_1 \dots E_P$ ) должно выполняться условие:

- При сортировке по значению из стандартного ряда ( $Ra_{std}$ )

$$d_{101}=d_{102}= \dots = d_{10a}= Ra_{std}$$

- При сортировке по значению из диапазона ( $Ra_{std}$ )

$$F_R \rightarrow \begin{pmatrix} d_{101} \\ \vdots \\ d_{10a} \end{pmatrix} \in [Ra_{std}; Ra_{std} + \Delta Ra]$$

После группирования деталей необходимо проанализировать полученные группы. Анализ групп следует проводить согласно следующим рекомендациям:

- Проанализировать все группы деталей по типу применяемых заготовок. Принять предварительно решение о целесообразности проектирования цехов заготовительного производства.
- Выделить из общего числа групп группы с деталями, заготовки для которых будут составлять малую часть от общего числа заготовок. Рассмотреть целесообразность изготовления данной детали на проектируемом ТК и возможно изготовления детали (или заготовки детали) по кооперации с другими предприятиями.
- Выделить и проанализировать группы с маленькой программой выпуска деталей. Рассмотреть возможность объединения этих групп с другими группами или изготовления их сторонними производителями.

После такого анализа групп деталей появляется возможность сформировать цеха и корпуса всего проектируемого предприятия и построить технологическую схему производства в первом приближении. При таком подходе к формированию технологической схемы производства можно приступить к разработке технологических процессов изготовления деталей для каждого участка, с учетом типа производства для каждого и структурных связей между ними. В конечном счете, можно будет получать более качественные технологические решения.

#### **Список литературы**

1. *В.М.Бурцев, А.С.Васильев, А.М.Дальский и др.; Под ред. А.М.Дальского.* Технология машиностроения: В 2 т. Т.1. Основы технологии машиностроения. – М.: 1998 – 564 с.
2. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. – М.: 1987. – 255 с.