

Выявление функциональной и параметрической общности процессов обработки и сборки

77-48211/624744

10, октябрь 2013

Малышев Е. Н., Бысов С. А.

УДК 621.91; 621.757

Россия, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

1m-kf.mgtu@inbox.ru

Для современного машиностроения характерно значительное разнообразие выпускаемых изделий и средств технологического обеспечения при одновременно низком уровне использования технологического оборудования и не приспособленности производства к быстрой и эффективной перестройке на выпуск новой продукции [1]. Низкий уровень унификации средств технологического оснащения проявляется в низком коэффициенте использования, как самих технологических систем (ТС), так и их технологических возможностей. Одним из таких путей повышения эффективности использования имеющегося на предприятиях производственного оборудования может быть концентрация операций.

Принцип концентрации операций все шире используется при проектировании современных технологических процессов. Там, где раньше применяли операционные станки с максимальной дифференциацией процесса обработки на отдельные операции, сейчас концентрируют большее количество операций на одном станке с тем, чтобы сократить производственные площади и количество используемого оборудования. Особенно это проявляется при использовании станков с ЧПУ.

Актуальной является задача определения принципов и методов, позволяющих технологу принимать научно обоснованные решения о концентрации как однотипных (например, обработка резанием), так и разнотипных (таких как обработка и сборка) операций в единых технологических системах.

В настоящее время практически отсутствуют теоретические и экспериментальные исследования, в том числе и обобщение производственного опыта, которые послужили бы научной базой при проектировании технологических процессов изготовления изделий на основе концентрации обработки и сборки. В печати опубликовано незначительное количество работ по применению данного технологического приема, как правило, без указания основных технологических параметров и режимов.

Задачей настоящего исследования является выявление функциональной и параметрической общности процессов обработки и сборки, что является важнейшим условием создания технологических систем для реализации механосборочных операций.

Для решения поставленной задачи необходимо [2]:

- определить функции, необходимые для реализации обрабатывающего и сборочного технологических процессов;
- определить параметры, определяющие функции обрабатывающего и сборочного технологических процессов;
- найти диапазон (множество) значений, соответствующих параметрам функций обрабатывающего и сборочного технологических процессов;
- выявить функции, параметры функций и значения параметров функций, которыми должна обладать технологическая система, создаваемая на основе концентрации обрабатывающего и сборочного процессов.

Создание технологических систем должно основываться на комплексе функций, для реализации которых они предназначены. Выявление и четкая формулировка таких функций позволит определить состав ТС (подсистемы, элементы, компоненты), функции элементов ТС, связи и взаимодействие элементов в ТС.

Каждый элемент (подсистема) ТС способен реализовывать множество функций, количественный и качественный характер которых определяется конструктивным решением элемента, качеством его изготовления, степенью износа, степенью совместимости, рациональностью компоновки со смежными элементами и так далее. При этом различные элементы способны брать на себя более широкий набор функций, чем изначально закрепленный за ними. Например, промышленный робот, может совмещать выполнение вспомогательных функций – подъемно-транспортных и рабочих – сборочных. Так же, например, устройства и механизмы рабочих ходов могут выполнять часть функций механизмов вспомогательных ходов.

Если создаваемая ТС должна реализовывать m различных технологических процессов, то множество функций F , реализуемых ТС должно, как минимум, включать множество функций, потребных для реализации каждого технологического процесса:

$$F = \bigcup_{i=1}^m F_i,$$

где $F_i = \{f_{ik_i} | k_i = 1, \dots, n_i\}$ – множество функций, необходимых для реализации i – го технологического процесса.

К элементам этого множества могут быть отнесены:

- функции непосредственного изменения размеров, формы и относительного положения объектов производства, а так же свойств их материалов;

- функции загрузки-выгрузки заготовок и изделий в ТС и в рабочую зону ТС;
- функции закрепления заготовок, изделий или приспособлений с изделиями в рабочей зоне ТС;
- функции смены отдельных инструментов или их комплектов;
- функции доставки смазывающе-охлаждающих сред в рабочую зону ТС;
- функции удаления отходов, препятствующих нормальному ходу технологического процесса, из рабочей зоны ТС;
- функции текущего и окончательного контроля параметров технологического процесса и его результатов;
- функции управления работой отдельных элементов ТС, а также работой ТС в целом (в том числе адаптивное управление) и так далее.

В таблице 1 представлены некоторые функции, необходимые для реализации обрабатывающего и сборочного технологических процессов.

Таблица 1 - Функции технологической системы, необходимые для реализации обрабатывающего и сборочного технологических процессов

Множество функций, необходимых для реализации технологических процессов:	
обрабатывающих F_1	сборочных F_2
– Функция загрузки заготовок и выгрузки деталей f_{11} ;	– Функция загрузки деталей и сборочных единиц (СЕ) и выгрузки узлов и сборочных единиц f_{21} ;
– Функция ориентирования и закрепления заготовок или приспособлений с заготовками в рабочей зоне перед началом обработки f_{12} ;	– Функция ориентирования и фиксации относительного положения деталей и СЕ в рабочей зоне перед началом сопряжения f_{22} ;
– Функция формообразования поверхностей f_{13} ;	– Функция сопряжения деталей и сборочных единиц f_{23} ;
– Функция смены отдельных инструментов или их комплектов f_{14} ;	– Функция смены отдельных инструментов или их комплектов f_{24} ;
– Функция доставки смазывающе-охлаждающих сред в зону обработки f_{15} ;	– Функция обеспечения температурного воздействия на детали и СЕ в рабочей зоне перед началом сопряжения f_{25} ;
– Функция удаления стружки и СОТС из рабочей зоны f_{16} ;	– Функция удаления стружки и загрязнений из рабочей зоны f_{26} ;
– ...	– ...
– Функция текущего и окончательного контроля параметров и результатов обработки f_{1n_1-1} ;	– Функция текущего и окончательного контроля параметров и результатов сборки f_{2n_2-1} ;
– Функция управления работой отдельных подсистем, а также работой системы в целом f_{1n_1} .	– Функция управления работой отдельных подсистем, а также работой системы в целом f_{2n_2}

Кроме формулировки самих функций F_i , важным является множество параметров P , определяющих каждую функцию, таких как:

- скоростные, силовые и точностные режимы работы;
- направление перемещений и действия сил;
- вид системы координат (прямоугольная, цилиндрическая, полярная);
- степень автоматизации выполнения функций;
- наличие обратных связей в системах управления;
- и другие.

Каждому отдельному параметру соответствует диапазон его значений, например:

- количество степеней подвижности;
- величина сообщаемой скорости или ускорения, создаваемой силы и давления;
- величина достижимой точности получаемых размеров, формы и относительного положения поверхностей объектов производства;
- значения температур в определенных зонах системы;
- значение производительности и надежности;
- и другие.

Таким образом, всякая функция f_{ik_i} характеризуется множеством необходимых для ее реализации параметров P_{ik_i} :

$$P_{ik_i} = \left\{ p_{ik_i}^l \mid l = 1, \dots, l_{ik_i} \right\},$$

где p – параметр функции, l_{ik_i} – количество параметров, характеризующих k_i -ю функцию i -го технологического процесса f_{ik_i} .

Например, в таблице 2 представлены некоторые параметры, характеризующие функцию формообразования поверхностей вращения (обработка точением) и функцию сопряжения деталей по поверхностям вращения (запрессовкой).

Таблица 2 - Параметры функций формообразования поверхностей вращения и сопряжения деталей по поверхностям вращения

Параметры функций	
формообразования поверхностей вращения f_{13}	сопряжения деталей по поверхностям вращения f_{23} ;
- вращение заготовки: -- частота вращения (скорость резания) $p_{1\text{фор}}^1 \left(p_{1\text{фор}}^V \right);$ -- момент вращения $p_{1\text{фор}}^2 \left(p_{1\text{фор}}^M \right)$	- ...
- относительное продольное перемещение заготовки и инструмента: -- скорость (продольная подача) $p_{1\text{фор}}^3 \left(p_{1\text{фор}}^{Snp} \right);$ -- усилие продольной подачи $p_{1\text{фор}}^4 \left(p_{1\text{фор}}^{Fnp} \right)$	- относительное продольное перемещение сопрягаемых компонентов: -- скорость (продольная подача) $p_{2\text{сб}}^1 \left(p_{2\text{сб}}^{Snp} \right);$ -- усилие продольной подачи $p_{2\text{сб}}^2 \left(p_{2\text{сб}}^{Fnp} \right)$
- относительное поперечное перемещение заготовки и инструмента: -- скорость (поперечная подача) $p_{1\text{фор}}^5 \left(p_{1\text{фор}}^{Snon} \right);$ -- усилие поперечной подачи $p_{1\text{фор}}^6 \left(p_{1\text{фор}}^{Fnon} \right)$	- ...
- точность относительного положения и перемещения обрабатываемой поверхности заготовки и инструмента (исполнительных механизмов формообразующей подсистемы, несущих заготовку и инструмент) $p_{1\text{фор}}^7 \left(p_{1\text{фор}}^{TS} \right)$	- точность относительного положения и перемещения сопрягаемых поверхностей (исполнительных механизмов сборочной подсистемы, несущих соединяемые компоненты) $p_{2\text{сб}}^3 \left(p_{2\text{сб}}^{TS} \right)$

Каждому параметру p_{iki}^l соответствует диапазон (множество) его значений:

$$Q_{iki}^l = \left\{ q_{iki}^v \mid v = 1, \dots, v_{iki}^l \right\}.$$

Основными функциями, для которых создается рассматриваемая ТС, являются функции формообразования и сопряжения.

Функция формообразования может быть реализована посредством формообразующей подсистемы ТС, которую образует совокупность элементов технологической системы, взаимное положение и перемещение которых обеспечивает заданную траекторию движения режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки.

Для описания формообразующих возможностей ТС может быть использован вариационный метод [3], который позволяет, используя в качестве исходных данных координатный код формообразующей подсистемы, получить уравнения всех возможных обрабатываемых на ней поверхностей.

Например, математическая модель формообразующей подсистемы, реализующей функцию формообразования поверхностей вращения методом точения, имеет вид:

$$\mathbf{r}_0 = \mathbf{A}^6 \mathbf{A}^3 \mathbf{A}^1 \mathbf{r}_3,$$

где $\mathbf{r}_0$ и $\mathbf{r}_3$ - радиус-векторы одной и той же точки, принадлежащей обрабатываемой поверхности в двух системах координат - заготовки и инструмента, $\mathbf{A}^1, \mathbf{A}^3, \mathbf{A}^6$ - матрицы обобщенных перемещений.

Функция сопряжения объектов сборки реализуется в процессе относительного перемещения несущих их устройств и механизмов, образующих по своему функциональному назначению сборочную подсистему ТС, обеспечивающую совмещение систем координат сопрягаемых деталей, т.е., например, для напрессовки втулки на вал, –

обеспечение $\mathbf{r}_{\text{вала } 0} = \mathbf{r}_{\text{втулк } 0}$ в системе координат вала (рис. 1), или $\mathbf{r}_{\text{вала } 1} = \mathbf{r}_{\text{втулк } 1}$ в системе координат втулки при запрессовке вала во втулку.

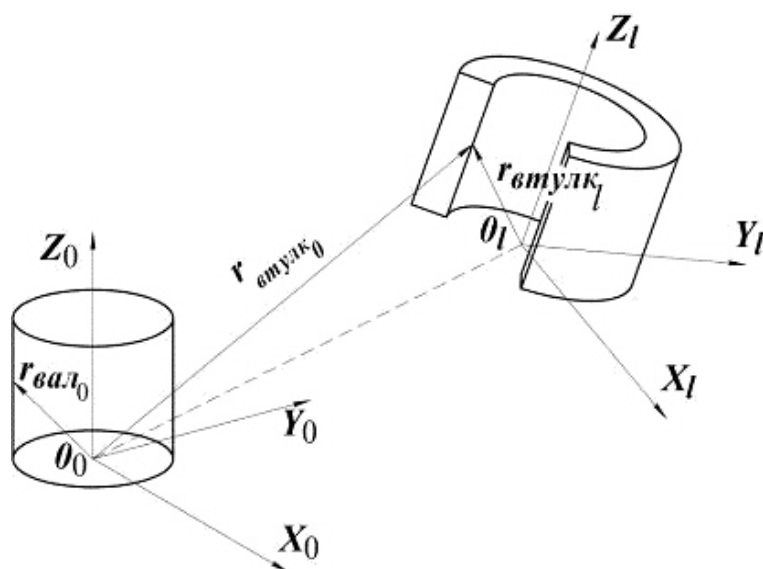


Рисунок 1 - Совмещение систем координат сопрягаемых поверхностей

Для анализа процесса сборки постулируем равенство сопрягаемых поверхностей, конфигурация остальных частей сборочных компонентов несущественна.

Сопряжение соединяемых деталей осуществляется при их относительном движении – движении сборки. В зависимости от вида соединений это движение может быть поступательным, вращательным или комбинированным (сложным). Геометрическая интерпретация обобщенных перемещений сопрягаемых поверхностей, необходимых для их сопряжений (совмещения их собственных систем координат) представлена на рисунке 2.

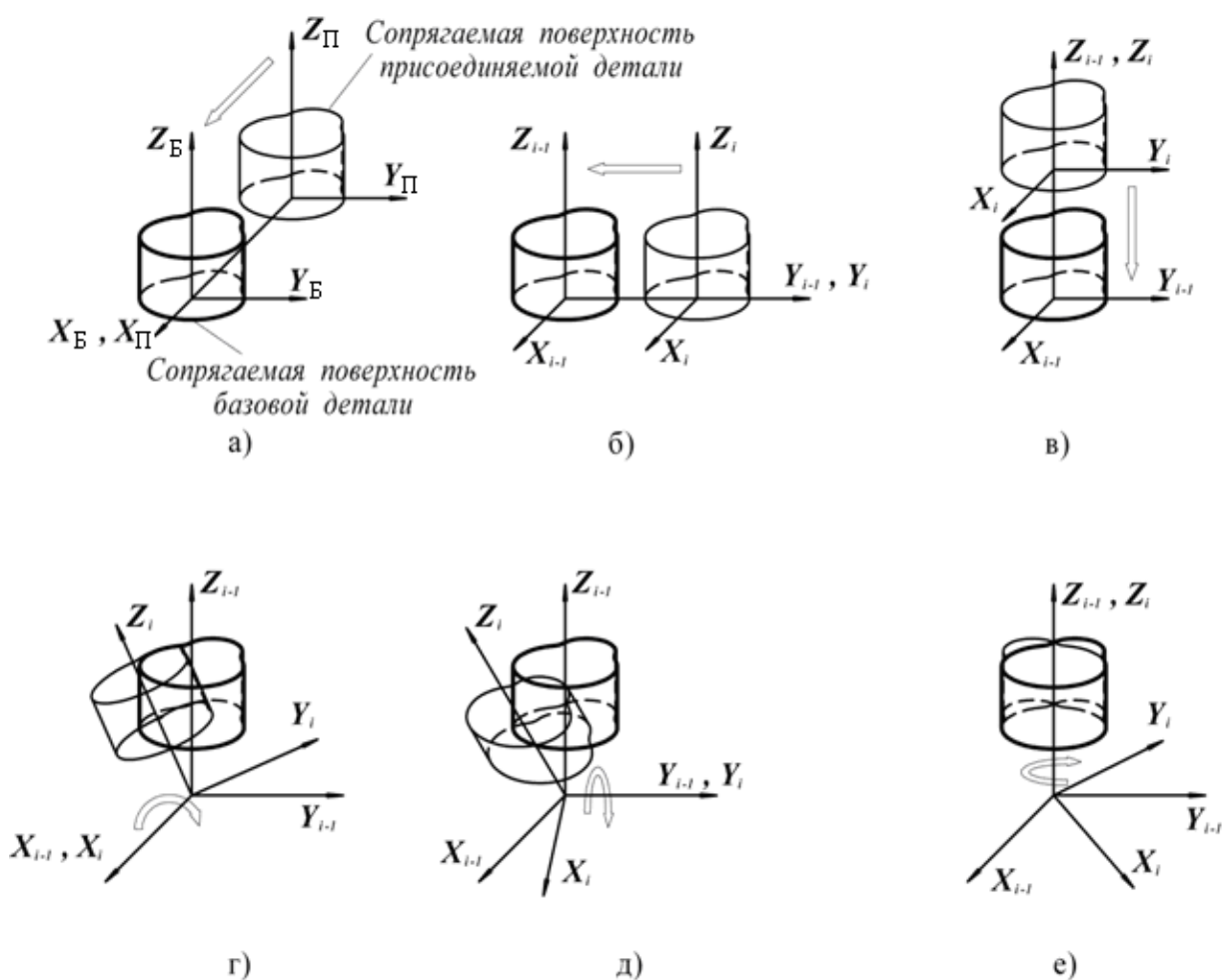


Рисунок 2 - Геометрическая интерпретация обобщенного перемещения сопрягаемых поверхностей, необходимых для их сопряжения (совмещения их собственных систем координат): а), б), в) – поступательное перемещение вдоль оси X , Y и Z соответственно; г), д), е) – повороты вокруг осей X , Y и Z соответственно; X_B , Y_B и Z_B - оси системы координат сопрягаемой поверхности базовой детали; X_{Π} , Y_{Π} и Z_{Π} - оси координат сопрягаемой поверхности присоединяемой детали

Таким образом, сборочной подсистемой следует считать совокупность звеньев технологической системы, взаимное положение и перемещение которых обеспечивает

заданную траекторию относительного движения сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей.

Используя вариационный метод [3], можно выявить, что поступательное перемещение соединяемых деталей вдоль оси Z может быть реализовано, если матрицей преобразования сборочной подсистемы является матрица обобщенных перемещений A^3 , описывающая соответствующее поступательное движение.

Сравнивая функцию формообразования поверхностей вращения, характеризуемую матрицей обобщенных перемещений $A^6 A^3 A^1$, и функцию сопряжения поверхностей по гладким цилиндрическим поверхностям вдоль оси вращения, характеризуемую матрицей обобщенных перемещений A^3 , можно заметить, что функция формообразования поверхностей вращения содержит в себе функцию сопряжения поверхностей вдоль их оси вращения:

$$f_{2cб} \subset f_{1фop} \text{ (или } f_{2з} \subset f_{1з} \text{ (таблица 1))}, \quad (1)$$

где $f_{1фop}$ - функция формообразования (таблица 1), $f_{2cб}$ - функция сопряжения поверхностей (таблица 1).

$$P_{1фop} = \left\{ p_{1фop}^l \mid l = 1, \dots, l_{1фop} \right\}$$

Множество параметров $P_{1фop}$, характеризующих функцию формообразования поверхностей вращения, включает:

- вращение заготовки (частота вращения (скорость резания) $p_{1фop}^1 \left(p_{1фop}^V \right)$, момент вращения $p_{1фop}^2 \left(p_{1фop}^M \right)$);
- относительное продольное перемещение заготовки и инструмента (скорость (продольная подача) $p_{1фop}^3 \left(p_{1фop}^{Snп} \right)$, усилие продольной подачи $p_{1фop}^4 \left(p_{1фop}^{Fnп} \right)$);
- относительное поперечное перемещение заготовки и инструмента (скорость (поперечная подача) $p_{1фop}^5 \left(p_{1фop}^{Snop} \right)$, усилие поперечной подачи $p_{1фop}^6 \left(p_{1фop}^{Fnop} \right)$);
- точность относительного положения и перемещения обрабатываемой поверхности заготовки и инструмента (исполнительных механизмов формообразующей подсистемы, несущих заготовку и инструмент) $p_{1фop}^7 \left(p_{1фop}^{TS} \right)$ и другие.

Множество параметров $P_{2cб} = \left\{ p_{2cб}^l \mid l = 1, \dots, l_{2cб} \right\}$, характеризующих функцию

сопряжения деталей по поверхностям вращения, включает:

- относительное продольное перемещение сопрягаемых компонентов (скорость

(продольная подача) $P_{2cb}^1 \left(P_{2cb}^{Snp} \right)$, усилие продольной подачи $P_{2cb}^2 \left(P_{2cb}^{Fnp} \right)$);

- точность относительного положения и перемещения сопрягаемых поверхностей (исполнительных механизмов сборочной подсистемы, несущих соединяемые компоненты)

$P_{2cb}^3 \left(P_{2cb}^{TS} \right)$ и другие.

Сравнивая множества $P_{1фop}$ и P_{2cb} можно отметить, что для параметров, связанных с процессами реализации функций обработки и сборки

$$P_{2cb} \subset P_{1фop}, \quad (2)$$

а именно:

- продольная подача исполнительных механизмов $P_{1фop}^{Snp} = P_{2cb}^{Snp}$;

- силовой характер продольной подачи $P_{1фop}^{Fnp} = P_{2cb}^{Fnp}$;

- точность относительного положения и перемещения исполнительных

механизмов $P_{1фop}^{TS} = P_{2cb}^{TS}$.

На следующем этапе следует выявить множества значений $Q_{1фop}^I$ и Q_{2cb}^I указанных параметров, необходимых и достаточных для реализации процессов обработки и сборки.

Выбор значений величины продольной подачи при обработке резанием в основном определяются требованиями к качеству обработанной поверхности. Так требуемое значение величины минутной подачи, например, может составлять от 25 мм/мин ($V_{рез} = 80$ м/мин, $d = 100$ мм, $S = 0,1$ мм/об) до 310 мм/мин ($V_{рез} = 100$ м/мин, $d = 30$ мм, $S = 0,3$ мм/об) и более.

Выбор значения скорости запрессовки зависит от требуемой производительности и необходимой прочности соединения. Обычные скорости запрессовки от 60 до 600 мм/мин. Наибольшая прочность достигается при скоростях до 180 мм/мин.

Видно, что множество значений, которые могут принимать параметры $P_{1фop}^{Snp}$ и P_{2cb}^{Snp} , имеют значительную область пересечения $Q_{1фop}^{Snp} \cap Q_{2cb}^{Snp}$. Создавая

технологическую систему, следует стремиться к тому, чтобы параметр P^{Snp} в ТС принимал значения из множества

$$Q^{Snp} = Q_{1\phi op}^{Snp} \cup Q_{2cb}^{Snp} \quad (3)$$

Множества значений сил, потребных для запрессовки, и сил, потребных для продольного перемещения режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности, также имеют значительную область пересечения. Например, усилия 6 кН достаточно для запрессовки стальной втулки с наружным и внутренним диаметрами соответственно 50 и 40 мм в корпус с наружным диаметром 100 мм из алюминиевого сплава с величиной натяга $N = 50$ мкм, длиной сопряжения $l = 25$ мм. Усилия 25 кН достаточно для запрессовки стальной втулки с наружным и внутренним диаметрами соответственно 70 и 60 мм в кондукторную плиту (отношение d/D стремится к нулю) с величиной натяга $N = 100$ мкм, длиной сопряжения $l = 45$ мм. В то же время, при черновом обтачивании заготовки из стали 45 проходным резцом с углом в плане $\varphi = 45^\circ$, при глубине резания 6,5 мм и величине подачи 0,6 мм/об величина осевой силы $P_x = 4,5$ Н, при сверлении заготовки из стали 45 сверлом диаметром 35 мм и величине подачи 0,6 мм/об величина осевой силы $P = 21,0$ кН.

Создавая технологическую систему, следует стремиться к тому, чтобы параметр P^{Fnp} в ТС принимал значения из множества

$$Q^{Fnp} = Q_{1\phi op}^{Fnp} \cup Q_{2cb}^{Fnp} \quad (4)$$

Сравнивая требования к точности реализации процессов обработки и сборки, рассмотрим пример. При обработке резанием наружной цилиндрической поверхности с номинальным диаметром $d = 30$ мм точением по 7-8 качеству точности отклонение перемещения инструмента относительно номинальной траектории не должно превышать ± 5 мкм. В то же время, при запрессовке втулки $d_B = 30^{+0,045}_{-0,023}$ мм в отверстие диаметром $30^{+0,045}_{-0,023}$ мм с заходными фасками на сопрягаемых поверхностях высотой $4-1$ мм и углом $10^\circ \pm 2^\circ 30'$ допустимая начальная несоосность сопрягаемых поверхностей может достигать 0,3 мм.

Точность относительного перемещения исполнительных механизмов создаваемой технологической системы должна удовлетворять наиболее жестким требованиям, свойственным различным технологическим процессам. Создавая технологическую систему в качестве значения, характеризующего точность относительного перемещения исполнительных механизмов, следует ориентироваться на

минимальное значение

$$q_{\min Q^{TS}}^{TS} \Big| Q^{TS} = Q_{1\text{фop}}^{TS} \cup Q_{2\text{сб}}^{TS} \quad (5)$$

Выполненные исследования и полученные выражения (1),..., (5) позволяют:

- выявить функции ТС, необходимые для реализации обрабатывающих и сборочных процессов;
- определить множество параметров, определяющих эти функции;
- определить диапазон значений этих параметров.

Аналогично могут быть выявлены и однозначно определены остальные функции множеств F_1 и F_2 (таблица 1), параметры функций (таблица 2) и значения параметров.

Выводы

Установлена в виде логических ограничений и допущений (1),..., (5) функционально-параметрическая взаимосвязь обрабатывающих и сборочных процессов. Доказано, что функции и параметры, которыми должна обладать технологическая система для реализации обрабатывающего и сборочного технологических процессов, обладают значительной общностью, что позволяет проектировать единые технологические системы на основе концентрации механосборочных процессов и, в дальнейшем, принимать научно обоснованные решения по их эффективному использованию [4].

Список литературы

1. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
2. Малышев Е.Н., Бысов С.А. Обоснование принятия решения о концентрации обработки и сборки на одном станке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 11. С. 41-46.
3. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986. 336 с.
4. Бысов С.А., Малышев Е.Н. Выявление и анализ организационно-технологических факторов, влияющих на результативность технологических систем, организованных на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов // Наука и образование. Электрон. журн. 2012. № 3. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/keywords/362643/index.html> (дата обращения: 02.06.2012).