ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ В СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

REASONING AND DEVELOPMENT OF SUPLEMETARY MANUFACTURABILITY INDICATORS IN PROCESS PLANNING SYSTEM

Ph.D, assoc. prof. Mitin S., Dr. Sc., prof. Bochkarev P. Ph.D, assoc. prof. Bokova L.
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation

Abstract: *The article touches upon manufacturability as a main concept of mechanical engineering. There are given a reasoning of supplementary manufacturability indicators and development of techniques for evaluation of manufacturability by using these indicators in process planning system. The developed techniques can be used in conditions of multiproduct manufacturing in integrated computer-aided design and manufacturing systems to obtain an objective evaluation of manufacturability of processed parts and to get recommendations about efficient using of tooling equipment capabilities.*
***KEYWORDS**: MANUFACTURABILITY, DESIGN AUTOMATION, CAPP, MULTIPRODUCT MANUFACTURING*

1. Введение

Одним из базовых понятий технологии машиностроения является технологичность. Технологичность конструкции является определяющим фактором при формировании затрат на изготовление и дальнейшую эксплуатацию изделий, поэтому задачи разработки и оптимизации конструкции изделий необходимо решать, опираясь на возможности конкретной производственной системы, в которой предполагается их изготовление [1]. Понятием, которое определяет соответствие запланированных для изготовления изделий возможностям производственной системы, является производственная технологичность. Современные положения технологии машиностроения не позволяют решить, в полной мере, задачу оптимизации конструкции изделия с точки зрения технологичности, а задача отработки конструкции изделия на производственную технологичность с учётом конкретных условий производства до настоящего времени не ставилась.

Оценка технологичности, во многом, является субъективной, зависящей от опыта и знаний отдельных конструкторов и технологов, что не учитывает существенно расширяющиеся возможности современного оборудования и не позволяет обеспечить эффективность его эксплуатации [2]. Следовательно, необходима разработка инструмента для поддержки принятия решений, позволяющего объективно оценить технологичность конструкции проектируемых изделий относительно условий и возможностей конкретной производственной системы. Процесс оценки технологичности изделий является противоречивым и сложноформализуемым, поэтому реализация оценки технологичности проектного решения возможна только после создания моделей, адекватно отражающих связь между конструктивными элементами изделий и технологическими свойствами производственных систем. Следует отметить, что существующая система показателей позволяет установить такую связь на уровне сложившихся к настоящему времени конструкторско-технологической стандартизации и унификации, однако она обладает рядом недостатков, главными из которых является отсутствие направленности на конкретную производственную систему, в которой будет выполняться обработка деталей, и независимая оценка производственной технологичности каждой детали, хотя в условиях многономенклатурного производства для его экономически эффективного функционирования важна не только унификация на уровне отдельных конструктивных элементов одной детали, но и унификация конструктивных характеристик для всей номенклатуры деталей, обрабатываемых одновременно в рамках производственной системы.

2. Предпосылки и средства решения проблемы

Проводя анализ известных методик оценки производственной технологичности, следует отметить подход, в основу которого положено установление связей между частными показателями технологичности и их влиянием на технологические составляющие обработки [3]. Отличительной особенностью данного подхода является разработанное представление об исходных данных для расчета показателей технологичности, которое включают как информацию по рассматриваемой детали, так и систематизированную справочно-методическую информацию, связывающую конструктивные характеристики элементов детали с технологическими методами их получения. Однако этот подход обладает рядом недостатков:

- не направлен на оценку технологичности для конкретной производственной системы, в которой будет выполнятся обработка детали;
- справочная и нормативно-техническая информация, используемая в качестве составления исходных таблиц для расчета, требует постоянных корректировок, что отражается на методике вычисления, особенно в установлении применяемых весовых коэффициентов показателей;
- методика расчета не отражает тип производства и особенности как самой производственной системы, так и применяемые подходы к технологической подготовки производства;
- ведётся оценка производственной технологичности отдельно каждой детали.

В наибольшей степени указанные недостатки и требования учтены при разработке системы автоматизированного планирования многономенклатурных технологических процессов (САПМТП) [4], которая в рамках комплексной автоматизации процесса конструкторско-технологической подготовки производства позволяет автоматизировать количественную оценку на производственную технологичность в условиях многономенклатурных механообрабатывающих систем [5].

Основой информационного обеспечения САПМТП является база данных по технологическим возможностям оборудования, структура которой обеспечивает прямую взаимосвязь между конструктивными характеристиками, требованиями точности, качества поверхностей изготавливаемых изделий и технологическими способами их обеспечения, относящимися к каждому конкретному представителю оборудования, которое имеется в рассматриваемой производственной системе.

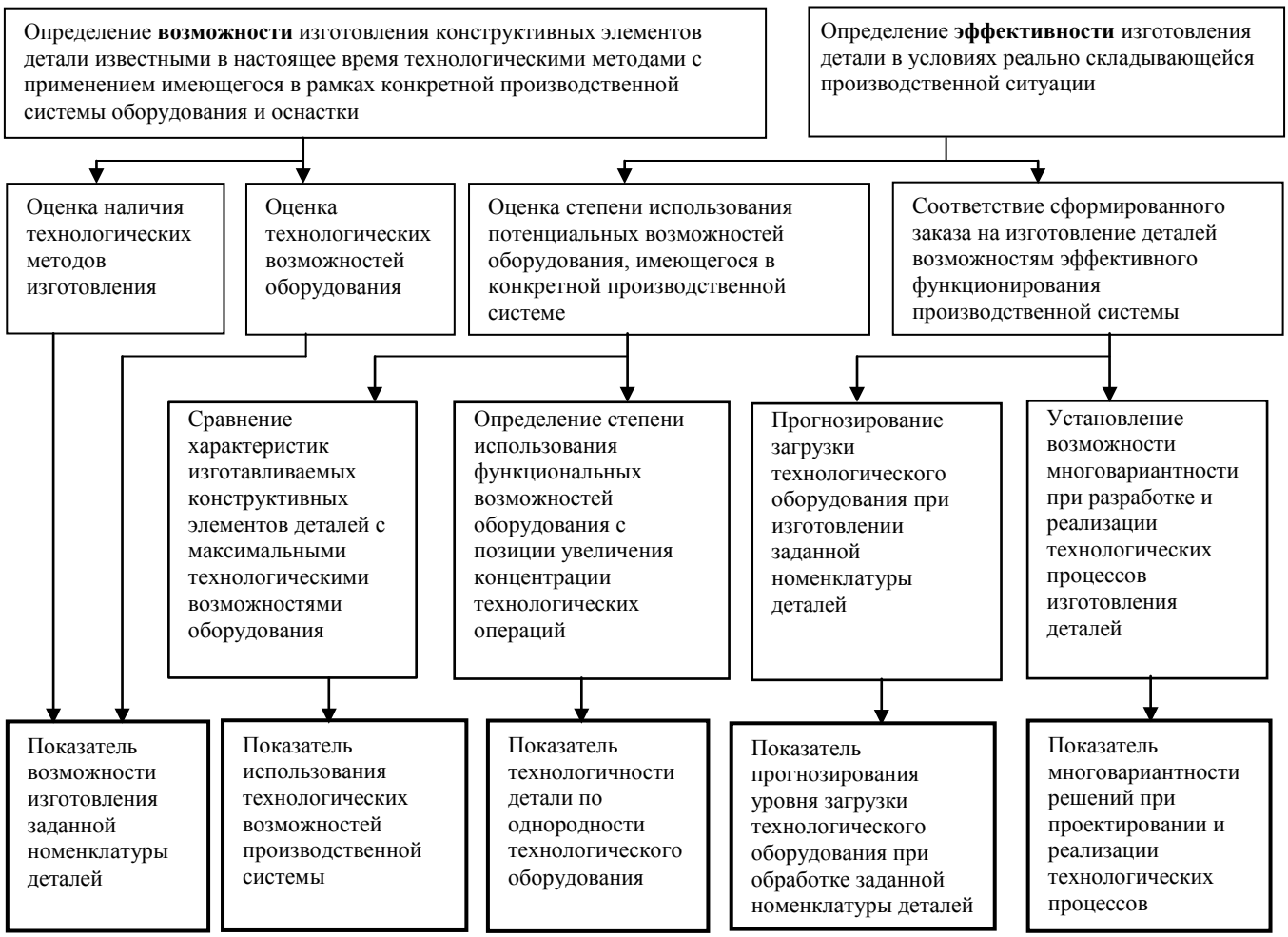

Рис. 1. *Дополнительные количественные показатели оценки производственной технологичности*

3. *Решение рассматриваемой проблемы*

На основе сформулированных требований к оценке производственной технологичности, учитывающих условия конкретной производственной системы и ориентацию на особенности многономенклатурных систем механообработки, выявленных взаимосвязей между производственной технологичностью и ее влиянием на технологические составляющие обработки, обоснован состав дополнительных показателей оценки производственной технологичности, созданы математические модели и методики, позволяющие сделать заключение о возможности рационального обеспечения параметров деталей при их обработке в конкретной производственной системе (рис. 1).

Вычислительные процедуры оценки производственной технологичности разделены по функциональным задачам на две группы. В задачу первых входит отсев деталей, изготовление которых невозможно в условиях данной производственной системы с установлением конструктивно-технологических причин. Такое заключение дается при определении показателя возможности изготовления заданной номенклатуры деталей. В задачу вторых входит формирование технико-экономического заключения о соответствии комплекта обрабатываемых деталей возможностям производственной системы и выработка предложений по оптимизации конструкции деталей с точки зрения производственной технологичности.

Для определения *возможности изготовления заданной номенклатуры деталей* на основе базы данных технологических возможностей оборудования САПМТП формируется матрица максимально достижимых показателей точности и качества обработки для каждого вида элементарных поверхностей на каждой из групп оборудования

$$A_m = \left\| A_{m(l,k)} \right\| \quad (l=1,2,\ldots, L;\ k=1,2,\ldots, K), \tag{1}$$

где A_m – группа технологического оборудования; l – номер вида элементарной поверхности; L – общее число элементарных поверхностей, возможных для обработки на имеющемся оборудовании в рамка рассматриваемой производственной системы; k – номер характеристики качества поверхности; K – общее количество характеристик качества поверхностей деталей; $A_{m(l,k)}$ – значение k-ой характеристики l-ой элементарной поверхности, получаемое при обработке на m-ой группе оборудования; m – номер группы технологического оборудования (m=1,2,…, M); M – количество групп технологического оборудования в рамках производственной системы.

На основе сформированной матрицы (1) определяются элементы матрицы возможных максимальных показателей качества обработки для каждого вида элементарных поверхностей для производственной системы в целом

$$\Pi = \left\| \Pi_{l,k} \right\| = \left\| \max_m \left(A_{m(l,k)} \right) \right\|, \tag{2}$$

где $\Pi_{l(k)}$ – максимально достижимое значение k-ой характеристики l-ого типа элементарной поверхности.

Для деталей на основе конструкторской документации формируется матрица с информацией о характеристиках обрабатываемых поверхностей

$$a_i = \left\| a_{i(j,k)} \right\| \quad (j=1,2,\ldots, J;\ k=1,2,\ldots, K), \tag{3}$$

где a_i – обрабатываемая деталь (i=1,2,…, I); I – количество деталей, запланированных для обработки в производственной системе в рассматриваемый период времени; J – количество элементарных поверхностей детали (для каждой детали различное количество); $a_{i(j,k)}$ – значение k-ой характеристики j-ой поверхности детали.

Процедура выполнения оценки технологической возможности изготовления заданной номенклатуры деталей в рамках рассматриваемой производственной системы заключается в сравнении элементов матриц (2) и (3) по столбцам для одинаковых видов элементарных поверхностей на предмет возможности достижения при обработке показателей качества, заложенных в конструкторской документации. Результатом является заключение о наличии в рамках производственного участка оборудования, технологические возможности которого позволяют изготовить детали с заданными техническими характеристиками. В случае отсутствия требуемого оборудования определяется деталь и техническое требование, обеспечение которого в данной производственной системе невозможно.

Наряду с установлением возможности изготовления заданной номенклатуры деталей немаловажным является *показатель использования технологических возможностей производственной системы*, который определяет степень соответствия используемого оборудования той номенклатуре деталей, которая запланирована для обработки. Учитывая постоянную изменчивость производственных заданий, свойственную производствам с единичным, мелко- и среднесерийным характером, задача рационального использования производственных мощностей является одной из ведущих для обеспечения эффективной работы производственной системы.

Вычисление показателя использования технологических возможностей производственной системы состоит из последовательно выполняемых процедур:

1) формирование матрицы максимально достижимых характеристик обработки элементарных поверхностей для производственной системы в целом (2);

2) формирование матрицы показателей использования технологических возможностей производственной системы при обработке элементарных поверхностей путём расчёта для каждой j-ой элементарной поверхности каждой i-ой детали по формуле

$$\Pi_{итв}(a_{i(j,k)}) = 1 - \frac{\left|\Pi_{(l,k)} - a_{i(j,k)}\right|}{(\max_k - \min_k)}, \qquad (4)$$

где l определяется по совпадению кода элементарной поверхности рассматриваемой детали и кода элементарной поверхности в матрице (2), $\max_k$ и $\min_k$ – максимально и минимально достижимые значения k-ой характеристики, определяемые из научных основ технологии машиностроения;

3) формирование матрицы показателей использования технологических возможностей производственной системы для каждой детали;

4) определение показателя использования технологических возможностей системы в целом

$$\Pi_{итв(пс)} = \frac{\sum_{i=1}^{I} \Pi_{итв}(a_i)}{I}. \qquad (5)$$

Наряду с оценкой показателя использования технологических возможностей оборудования по конструктивным и точностным характеристикам деталей существует необходимость определить степень возможной концентрации технологических операций, так как специфика функционирования многономенклатурных производственных систем, заключающаяся в постоянном обновлении выпускаемой продукции, направлена на повышение концентрации технологических операций для максимального использования функциональных возможностей современного оборудования. Количественным выражением этой оценки является показатель технологичности детали по однородности технологического оборудования. Его расчёт производится путём выполнения следующих проектных процедур:

1) определение возможности обработки элементарных поверхностей детали на оборудовании в рамках рассматриваемой системы;

2) анализ возможности объединения обработки отдельных элементарных поверхностей в рамках одной технологической операции;

3) оценка возможности объединения обработки на одном оборудовании различных элементарных поверхностей на основе кластерного анализа.

Полученный показатель позволяет провести оценку соответствия конструкции и характеристик поверхностей детали возможностям технологического оборудования в рамках рассматриваемой производственной системы с позиции достижения требуемых значений концентрации технологических операций. Это для условий многономенклатурного производства является одним из определяющих факторов обеспечения качества выполнения работ (снижения количества переустановок детали) и эффективного функционирования оборудования за счет снижения количества переналадок, вспомогательного времени при выполнении операций и организационных затрат.

Другим важным показателем эффективной работы многономенклатурных производственных систем механообработки является рациональная загрузка технологического оборудования. Условием её обеспечения является многофункциональность имеющегося оборудования, при этом характеристики сформированной номенклатуры и программа выпуска деталей должны позволять равномерно использовать все группы оборудования в рамках имеющейся производственной системы, что и определяется при расчёте *показателя прогнозирования уровня загрузки технологического оборудования при обработке заданной номенклатуры деталей*. Его вычисление производится в следующем порядке:

1) формирование вариантов обработки элементарных поверхностей на основе, исходной матрицы использования технологического оборудования (1);

2) определение времени обработки элементарных поверхностей по укрупнённым формулам;

3) расчёт вероятности выполнения обработки элементарных поверхностей на каждом оборудовании;

4) вычисление времени реализации технологических операций для каждой группы оборудования при изготовлении деталей из заданной номенклатуры;

5) моделирование работы системы массового обслуживания и расчёт коэффициента загрузки оборудования;

6) расчёт среднего показателя загрузки оборудования.

По значению данного показателя можно сделать заключение как по рациональности комплектования обрабатываемых в рассматриваемый промежуток времени деталей, так и по рациональности состава технологического оборудования в производственной системе в части соответствия его производственному заданию.

Вместе с тем, функционирование многономенклатурных производственных систем механообработки связано с неизбежными постоянными изменениями производственной ситуации. Поэтому создание условий для многовариантности реализации обработки деталей даёт возможность адаптировать процесс изготовления к реально складывающейся производственной ситуации, тем самым обеспечивая лучшие технико-экономические показатели работы производственной системы.

От конструктивных характеристик деталей, запланированных для обработки, во многом зависит возможность наделения создаваемых технологий свойством многовариантности, которую можно спрогнозировать при расчёте *показателя многовариантности решений при проектировании и реализации технологических процессов* на

основе данных о многообразии выбора технологического оборудования при выполнении обработки отдельных поверхностей деталей.

4. Результаты и дискуссия

Предлагаемые показатели оценки производственной технологичности дополняют известные показатели и используют дополнительную исходную информацию, включающую данные о технологических возможностях оборудования, содержащуюся в информационном обеспечении системы планирования многономенклатурных технологических процессов.

Отличительной особенностью оценки производственной технологичности с применением разработанных показателей является то, что определяется не абстрактная производственная технологичность деталей, а технологичность для конкретной производственной системы. Таким образом, не только более корректно делается заключение об обеспечении заданных характеристик изготавливаемых деталей и уровне сложности подготовки производства, но и прогнозируется эффективность функционирования производственной системы при изготовлении изделий.

Оценка показателя возможности изготовления деталей в условиях производственной системы позволяет сделать заключение о наличии технологического оборудования, которое обеспечивает при обработке получение всех технических требований к изготавливаемым деталям, тем самым снижается степень субъективного подхода к принятию технологических решения и вероятность получения брака.

Показатель использования технологического оборудования позволяет принимать решения по уровню использования его функциональных возможностей, что для условий многономенклатурного производства является одним из важнейших факторов конкурентоспособности производства.

Уровень показателя однородности по использованию оборудования с позиции увеличения концентрации технологических операций и обеспечения условий для формирования рациональных структур операций связан как с качественными, так и с экономическими параметрами производства. Повышение концентрации операций обеспечивает сокращение технологических маршрутов, что сказывается на обеспечении качества изготовления деталей. Кроме того, сокращаются затраты на переналадку технологического оборудования. Структура технологических операций является определяющим фактором, позволяющим путём её оптимизации сократить основное время выполнения операций за счет применения параллельной обработки, сократить вспомогательное время и рационально использовать средства технологического оснащения.

Значение показателя прогнозирования уровня загрузки технологического оборудования даёт представление о загрузке отдельных групп оборудования и всей производственной системы и временных производственных затратах при обработке запланированной номенклатуры деталей.

Показатели многовариантности обработки деталей позволяют оценить потенциальные возможности выбора наиболее рациональных вариантов на стадиях проектирования и реализации технологии с учетом складывающейся производственной ситуации, это позволяет за счёт обеспечения более равномерной загрузки оборудования и снижения непроизводственных затрат сократить время работы производственной системы по изготовлению заданной номенклатуры деталей.

Количественные значения показателей в зависимости от особенностей, целей и задач производства позволяют сформулировать рекомендации по совершенствованию конструкции деталей, обоснованию комплектности номенклатуры деталей, соответствию состава технологического оборудования требованиям к обрабатываемым деталям в зависимости от значений отдельных показателей.

5. Заключение

Таким образом, обоснован состав дополнительных показателей количественной оценки на производственную технологичность деталей, разработана система поддержки принятия решений на основе расчёта предложенных показателей, что даёт возможность максимально использовать конструкторско-технологические резервы для решения задач повышения технико-экономических показателей изготовления и изделий. Разработанные методики для количественной оценки дополнительных показателей производственной технологичности механообрабатывающих производств учитывают специфику технологической подготовки единичного, мелко- и среднесерийного производства и ориентированы для использования в системе планирования многономенклатурных технологических процессов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-1835.2013.8

6. Литература

1. Бокова, Л. Г. Технологичность как фактор повышения эффективности конструкторско-технологической подготовки механообрабатывающих производств / Л. Г. Бокова, П. Ю. Бочкарёв // Вестник Дагестанского научного центра РАН, Махачкала.–2012, № 45.– С.29-31.
2. Бочкарёв П.Ю. Оценка производственной технологичности изделий с учетом состояния многономенклатурного автоматизированного производства / П. Ю. Бочкарёв, С. Г. Митин, Л. Г. Бокова // Международный технологический форум «Инновации. Технологии. Производство»: Сборник тезисов докладов. – Рыбинск: РГАТУ имени П.А. Соловьева, 2014.– С.77-78.
3. Сагателян, Г.Р. Анализ технологичности конструкций деталей приборов, изготовляемых методами обработки материалов резанием / Г.Р. Сагателян, Н.Р. Руденко, Н.Г. Назаров.–М.: МГТУ. 1995.–32 с.
4. Бочкарёв, П. Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки / П. Ю. Бочкарёв // Технология машиностроения.– 2002, № 1.– С.10-14.
5. Митин, С. Г. Разработка технологических операций с учётом показателя технологичности в системе планирования многономенклатурных технологических процессов / С. Г. Митин, П. Ю. Бочкарёв, Л. Г. Бокова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011, № 3(58).– С.101-105.