

ФУНКЦИОНАЛЬНО – СТОИМОСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

А.В. Балашов, А.А. Черепанов

В статье рассматриваются особенности функционально-стоимостного подхода к формированию структуры технологической операции в целом и применительно к основным этапам ее проектирования: выбору технологической оснастки и оптимизации режимов резания. В качестве оценки рациональности выбора варианта организации операции предлагается использовать принцип соответствия значимости функций, участвующих в реализации операционного размера, затратам на их реализацию. При оптимизации режимов в качестве дополнительного ограничения предлагается использовать уровень соответствия значимости функций затратам на их осуществление, что позволяет учесть экономические факторы в процессе выбора режимов. В качестве исходных данных при выборе технологической оснастки целесообразно использовать количественные данные из функционально – стоимостной диаграммы для принятого варианта организации технологической операции.

Ключевые слова: технологическая операция, функционально-стоимостное проектирование, оптимизация режимов резания

Современные требования к конкурентоспособности выпускаемой продукции вынуждают производителя осознанно идти на ужесточение точностных требований к деталям. Например, за истекшие 20 лет допуск на отклонение от плоскостности поверхностей корпусных деталей уменьшился более чем в 8 раз. Ужесточение допусков вызывает необходимость многократного увеличения затрат на обработку. По данным литературных источников при современном развитии науки и техники сокращение допуска в 2 раза требует увеличение затрат в 8 раз. В этих условиях к качеству проектных решений при формировании технологических процессов изготовления деталей должны предъявляться повышенные требования.

Эффективность любого технологического процесса во многом обусловлена качеством формирования структур составляющих его технологических операций. Анализ научных трудов в области исследуемой проблемы показал, что обоснованность решений, принимаемых при формировании структуры операции, определяются, преимущественно, качеством раскрытия трех видов связей: размерных, временных и информационных. Основным недостатком проанализированных работ служит то обстоятельство, что при создании структуры операции используется предметный подход. Практически все организационные и технические решения в этом случае нацелены на достижение конкретных

точностных показателей изготавливаемых деталей, а экономическому аспекту уделяется незначительное внимание. При реализации существующего подхода к проектированию операций учет экономических параметров осуществляется лишь при оптимизации режимов резания и при обосновании выбора варианта технологического процесса из множества приемлемых. Практика показывает, что такой подход в большинстве случаев приводит к неоправданным, излишним затратам и, как следствие, к нерациональным, с точки зрения экономики, технологическим процессам.

Необходимость создания конкурентоспособной продукции должна нацеливать производителей на обеспечение совместного учета точностных и экономических параметров в процессе проектирования технологических процессов. Совместный учет становится возможным при использовании в процессе проектирования технико-экономических методов, анализ которых позволяет отдать предпочтение методу функционально-стоимостного проектирования (ФСП).

Метод ФСП, являясь методом системного анализа функций объекта, обеспечивает на стадии проектирования предупреждение возникновения функционально излишних затрат и общественно необходимый уровень качества изготавливаемых изделий. Использование ФСП в рамках систем автоматизированного проектирования и программирования

(САПР и САП) как инструмента для решения задач проектирования структуры операций эффективности данного объекта исследования.

Известно, что в рамках действующего производства одними из наиболее значимых факторов при формировании структуры технологической операции, а следовательно и затрат на обработку являются выбор технологической оснастки и режимов резания. Рассмотрим методику реализации данных этапов проектирования с позиций методологии ФСП.

Одним из основных принципом ФСП служит принцип соответствия значимости функций объекта затратам на их реализацию. Если в качестве объекта исследования рассматривать технологическую операцию, то основной функцией объекта будет выступать функция «формообразовать поверхность». Эффективность обеспечения данной функции и состав функций, участвующих в ее реализации, обусловлены способом задания операционного размера. Например, если операционный размер получается формообразующим движением (диаметр растачиваемого отверстия), то эффективность реализации функции «формообразовать поверхность» будет зависеть от качества исполнения функций «настроить инструмент», «установить инструмент», «обеспечить съём материала». Все перечисленные функции реализуются на различных этапах производственного процесса, которые участвуют в формировании требуемой точности операционного размера, внося определенную долю погрешности в суммарную погрешность обработки. Поскольку каждая из перечисленных функций количественно характеризуется через показатели качества (группа показателей назначения), то значимость любой из выявленных функций можно оценить через долю вносимой погрешности в суммарную погрешность обработки. Каждый из этапов производственного процесса связан с затратами живого и овеществленного труда, поэтому любую функцию можно оценить через долю вносимых затрат в себестоимость обработки. Сопоставляя в относительных единицах значимость функции и величину затрат на ее осуществление, можно сделать вывод о рациональности реализации данной функции; полный анализ всех функций, участвующих в формировании операционного размера, дает возможность судить о рациональности организации операции в целом. Исследования операций действующих технологических про-

технологического процесса позволит уже на этой стадии выявить резервы повышения цессов, проведенные на ряде предприятий, показывают, что в настоящее время уровень несоответствия значимости функций затратам на их реализацию может достигать 40% и более.

Поскольку на практике существуют различные способы достижения одного и того же операционного размера (от технологических баз, от измерительных баз, формообразующим движением и т.д.), то на первом этапе проектирования (этапе анализа) следует выбрать наиболее рациональный вариант. Каждый из приемлемых вариантов характеризуется вполне определенной совокупностью основных функций, обеспечивающих выполнение функции «формообразовать поверхность». Используя аппарат ФСП, необходимо проанализировать все приемлемые варианты с позиций соответствия значимости функций затратам на их реализацию. Количественную взаимосвязь между этими факторами наглядно отражает функционально-стоимостная диаграмма (ФСД), пример которой приведен на рисунке 1.

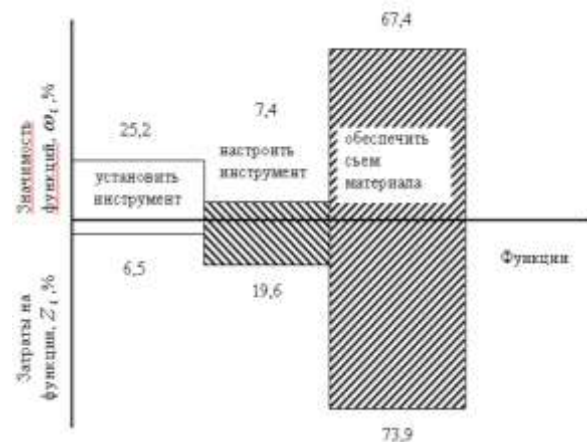


Рисунок 1- Функционально-стоимостная диаграмма

В верхней части диаграммы приводятся относительные величины значимости функций, выраженные через долю вносимых погрешностей ω_i в суммарную погрешность на обработку, а в нижней части – относительные величины затрат Z_i , связанные с формированием функций.

Если удельный вес затрат по той или иной функции превышает удельное значение ее значимости, возникает зона дисбаланса (на рис. 1 заштрихованы), которую в ходе

ФУНКЦИОНАЛЬНО – СТОИМОСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

проектирования необходимо устранить. ФСД составляются по всей совокупности приемлемых вариантов организации операции.

Критериями выбора рационального варианта достижения операционного размера могут служить: «минимальный уровень рассогласования между значимостью функций и затратами»; «количество зон дисбаланса»; «минимальные приведенные затраты» и другие. На этапе анализа для оценки значимости функций и затрат на их реализацию обеспечивается предварительный выбор технологической оснастки и режимов резания, исходя из условий достижений точности операционного размера и существующих возможностей предприятия.

Окончательный выбор технологической оснастки и режимов резания обеспечивается в ходе дальнейших проектных работ (этап синтеза) по выбранному варианту достижения операционного размера. Алгоритм окончательного выбора технологической оснастки и режимов резания представлен на рис.2.



Рисунок 2 – Алгоритм выбора технологической оснастки и режимов резания

Исходными данными для принятия проектных решений служат ФСД для выбранного варианта организации операции, построенная на этапе анализа, а также существующие или разработанные методики расчета затрат на функции и величин погрешностей, участвующих

в формировании операционного размера. Принцип соответствия значимости функций затратам на их реализацию должен учитываться при уточняющем выборе технологической оснастки и оптимизации режимов резания (блок 2, рис.2). Рассмотрим особенности использования данного принципа при оптимизации режимов резания.

Режимы обработки обуславливают значимость функции «обеспечить съем материала», количественно описываемую через погрешность динамической настройки, и затраты на ее реализацию. Поэтому принцип соответствия должен рассматриваться именно для этой функции, однако учет относительной величины значимости этой функции и затрат на ее осуществление обеспечивается с учетом значений погрешностей и затрат, характеризующих другие функции по выбранному варианту.

В качестве исходных данных при оптимизации режимов резания выступают: исходные требования к детали; базы данных по техническим характеристикам оборудования, технологической оснастки, приборам для настройки инструмента; требование по стойкости режущего инструмента; справочные данные для расчета шероховатости, мощности резания, точности обработки, стойкости режущего инструмента; база данных для определения величин затрат на реализацию различных этапов производственного процесса, участвующих в формировании операционного размера.

При оптимизации режимов резания используется метод Монте-Карло, поскольку, как показали практические исследования, оптимальные режимы могут находиться либо внутри области допустимых значений, либо на ее границе. На первом этапе оптимизации формируется массив сочетаний подач S_i и частот вращения n_i в пределах $S_{min} \leq S_i \leq S_{max}$; $n_{min} \leq n_i \leq n_{max}$, обеспечиваемых требуемую точность обработки.

На втором этапе определяется область допустимых S_i , n_i с учетом ограничений по мощности, шероховатости, точности и стойкости инструмента.

На следующем этапе определяется минимальный уровень рассогласования значимости $W_{cm}(S_i, n_i)$ функции «обеспечить съем материала» и затрат $Z_{cm}(S_i, n_i)$ на ее реализацию. Функция уровня рассогласования $F(S_i, n_i)$ в этом случае будет выглядеть следующим образом:

$$F(S_i, n_i) = |W_{cm}(S_i, n_i) - Z_{cm}(S_i, n_i)| \quad (1)$$

На рисунке 3 отражен график функции уровня рассогласования, а на рисунке 4 приведен график линий уровня данной функции.

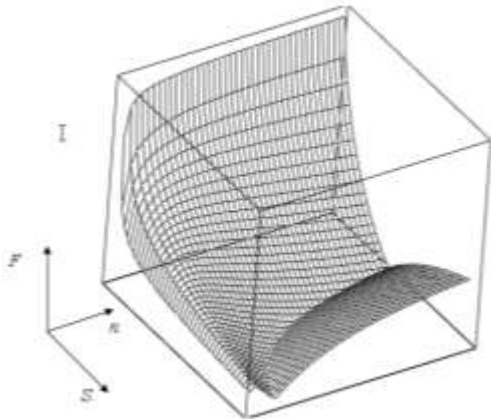


Рисунок 3 – График функции $F(S_i, n_i)$

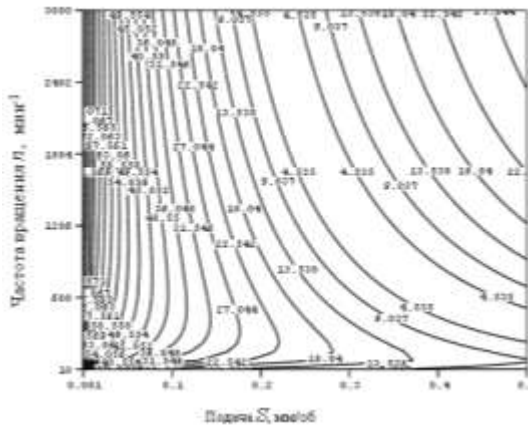


Рисунок 4 – График линий уровня функции $F(S_i, n_i)$

Численные значения, отраженные на линиях уровня (рис. 4), показывают уровень рассогласования между значимостью $W_{см}(S_i, n_i)$ функции «обеспечить съем материала» и затратами $Z_{см}(S_i, n_i)$ на ее реализацию в процентах. Минимальный уровень рассогласования, определяется в пределах зоны допустимых значений режимов резания, выявленной с учетом всех ограничений.

Анализ функции уровня рассогласования показал, что даже незначительные отклонения от минимального уровня рассогласования приводят к существенным изменениям в величине себестоимости операции. В результате исследований было выявлено, что наибольшее изменение себестоимости наблюдается при отклонении минимального уровня рассогласования в пределах 10%. Это обстоятельство учитывается в последующих этапах оптимизации. Линии уровня, соответствующие минимальному уровню рассогла-

сования $(F(S_i, n_i)_{min})$ и уровню $F(S_i, n_i)_{min} + 0,1F(S_i, n_i)_{min}$, должны выступать в качестве дополнительных ограничений при дальнейшей оптимизации режимов резания.

Заключительный этап оптимизации осуществляется по одному из критериев: «минимальная себестоимость» или «максимальная производительность».

Описанный подход к оптимизации режимов резания реализован в среде Mathcad 2001 Professional и позволяет обеспечить совместный учет точностных и экономических показателей технологического процесса в ходе проектирования.

Традиционно при предметном подходе к формированию технологической операции выбор технологической оснастки подчинен требованиями точности обработки. При этом все затраты, связанные с используемой технологической оснасткой, считаются

оправданными, если поставленная цель достигнута. Реализация в ходе проектирования методологии ФСП позволяет выявить величину затрат, к которой необходимо стремиться при выборе или проектировании технологической оснастки. В настоящее время отсутствуют методики проектирования, позволяющие определить эту величину затрат.

В качестве исходных данных при синтезе технических решений служит ФСД для выбранного варианта организации операции. Например, если существует зона дисбаланса при реализации функции «обеспечить съем материала», то снижение величины затрат может осуществляться выбором существующих или проектированием новых способов управления точностью, обеспечиваемых конструкцией режущего или вспомогательного инструмента. Устранение зоны дисбаланса для функции «настроить инструмент» может достигаться применением более прогрессивных средств статической настройки инструмента и т.д. При уточненном выборе технологической оснастки необходимо использовать методологию поискового конструирования.

Балашов А.В., к.т.н., доцент кафедры ОТМ тел. 29-09-23;

Черепанов А.А., к.т.н., доцент кафедры ТАП, тел. 29-08-94, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»