

## **Проблема адекватности математических моделей потребления электроэнергии на этапе технологического проектирования**

В связи с развивающимся импортозамещением для предприятий машиностроения важной задачей становится организация подготовки производства новой продукции. Основной технологией формообразования рабочих элементов деталей машин была и остается обработка резанием, реализуемая на станках с числовым программным управлением, наличие которых позволяет реализовать множество вариантов выполнения технологических переходов обработки одной детали.

Существующие пакеты САПР на этапе подготовки производства позволяют сгенерировать траектории и программный код управляющей программы для приводов станка, а также дать предварительную оценку длительности обработки. Предприятиям же нужно минимизировать расходы в процессе обработки, для чего необходимо иметь оценку того или иного варианта изготовления с точки зрения стоимости его выполнения имеющимися на предприятии станочными системами. В данной статье речь пойдет о вопросах и методике планирования и сокращения потребления электроэнергии.

Существующие методики планирования и расчета энергопотребления имеют ряд недостатков. Экономические методы расчета определяют энергопотребление укрупнено, как произведение номинальной мощности электродвигателей на длительность процесса. При таком расчете расхода электроэнергии ее величина никак не зависит от фактического содержания технологической операции.

При технологическом проектировании определяется максимальная величина сил резания или момента лишь для проверки приводов главного движения и подач на обеспечение необходимого запаса мощности. Дальнейшее развитие методики расчета потребления электроэнергии в целом для отдельной операции и производственного задания не проводится. Таким образом ни экономические, ни технологические

методики не позволяют выполнить расчеты с необходимой глубиной рассмотрения содержания процесса формообразования.

Основным источником расхода электроэнергии в процессе резания является процесс преодоления сопротивления силам, возникающим в процессе удаления припуска, сил трения в подвижных узлах – направляющих, подшипниках, шарико-винтовых пар, рассеивания тока в виде нагрева двигателей на холостом ходу электродвигателей, и на различных режимах работы и т.д. Кроме того в процессах выполнения заданий действуют и другие потребители электроэнергии. Включаются насосы подачи смазочно-охлаждающей жидкости, работают электродвигатели смазки подвижных частей станка, транспортеры по удалению стружки, загрузочные и транспортные механизмы.

Для расчетов сил резания в отечественных источниках литературы [2] используются математические эмпирические модели в виде формул, либо табличных значений. Их особенностью является полное отсутствие информации о диапазоне, в котором они действуют, поэтому ее применение на практике затруднительно. Но даже при попадании параметров процесса в расчетный диапазон, она не учитывает множество дополнительных факторов, действующих в технологической системе.

Крупнейшие мировые производители режущего инструмента (Sandvik Coromant, Iscar, Mitsubishi) в справочных материалах и он-лайн приложениях (например - калькуляторе режимов резания Sandvik Coromant [3]) для каждого варианта выполнения перехода строго по выпускаемым маркам инструментального материала и формам пластин, определяют составляющие силы резания. Они определяются через удельную силу, приходящуюся на 1 мм<sup>2</sup> поперечного сечения стружки.

В отличие от отечественных справочных материалов имеется исчерпывающая информация, в каком диапазоне параметров перехода действует данная модель. Такой подход позволяет надеяться на более адекватное определение величины сил резания, но только при условии

наличия соответствующего по всем параметрам паспортным и чертежным данным станка, заготовки, а также инструмента.

Применение динамометров сил резания позволяет найти фактически действующие силы резания, а также их изменение во времени, построить необходимые математические модели. Казалось бы это и есть идеальное решение. В действительности же их применение ограничивается высокой дополнительной стоимостью измерительного оборудования, снижением жесткости станка, влияющее на качество обработки, а также в отдельных случаях невозможностью их встраивания в текущую наладку технологической системы.

Но даже имея эти данные, мы не получаем всего комплекса данных для расчета фактического потребления электроэнергии, поскольку в действительности при выполнении производственных заказов каждая партия поставленных заготовок строго индивидуальна по разбросу геометрических показателей и твердости и зависит от стабильности условий их получения (например детали одной плавки, или поковки из одной марки материала). Конкретная станочная единица имеет индивидуальные, присущие только ей геометрические отклонения, влияющие на степень сопротивления при передаче моментов. Степень износа приводов станков также имеют свою, и потребления тока холостого хода, поэтому при расчетах расхода электроэнергии, напрямую применять имеющиеся справочные данные и математические модели величины силы резания невозможно. Необходимы дополнительные технические процедуры по предварительному определению действующих математических моделей для каждой производственной партии.

Уменьшить расход электроэнергии можно, например за счет применения в процессе обработки инструментов с износостойкими покрытиями [1] снижением сил трения, но наибольший эффект дает изменение структуры рабочих ходов в процессе срезания припуска, а также изменение значений технологических параметров переходов.

Поэтому в работе поставлена задача разработать такую методику, которая позволила бы заранее, на этапе проектирования технологической операции в зависимости от структуры ее содержания, состава дополнительных потребителей электроэнергии и фактического состояния модулей технологической системы, инструмента, и марки материала обрабатываемой партии деталей рассчитать величину потребления электроэнергии.

Методика, которая позволила бы произвести такие расчеты должна рассматривать выполнение заданий на рабочем месте из отдельных, вложенных друг друга более простых технологических составляющих (процессов). Полностью этим условиям удовлетворяет методика моделирования содержания технологической операции формообразования, производственного задания, и построения временных цепей [6].

В ней рассматриваются составляющие производственного задания: настроенный цикл, наладочный цикл, операция, установ, позиция, переход, рабочий ход. Указанная совокупность технологических составляющих адекватно моделирует содержание любой операции обработки резанием, структура которой может быть представлена в виде иерархического дерева, приведенного на рис. 1. Определения составляющих универсальны и связаны с признаками выполнения технологического способа обработки.

Для моделирования содержания операций с ЧПУ нами добавлена еще одна необходимая элементарная составляющая – это шаг. Единичный шаг это элементарное перемещение суппортами станка выполняемое приводами суппортов станка с ЧПУ. В каждом отдельном шаге выполняется процесс формообразования отдельных участков заготовки со снятием припуска.

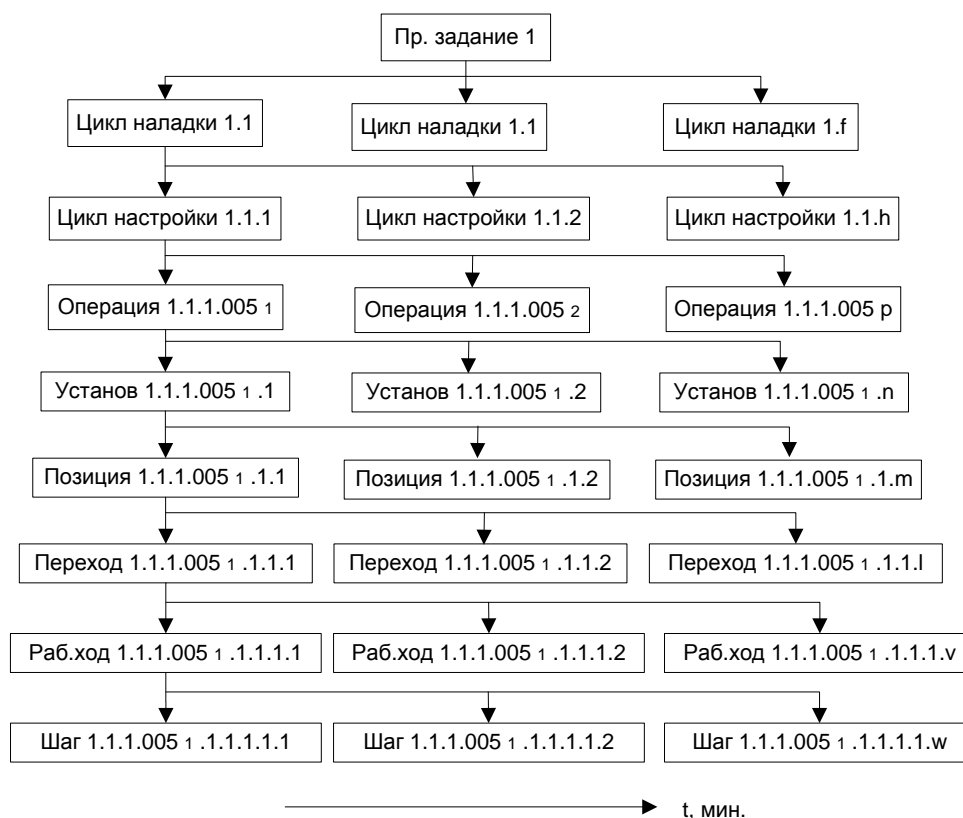


Рис. 1 Обобщенная схема структурных элементов производственного задания.

В зависимости от способа выполнения технологического процесса на любом из уровней возможны различные комбинации временных структур – простейшая, последовательная, одновременная и одновременно-последовательная, позволяющие спроектировать временную цепь выполнения процесса резания [4, 5].

Алгоритм расчета потребления электроэнергии для облегчения процесса программирования выполняется в отдельных циклах, повторяющихся для каждого структурного элемента производственного задания, причем для каждого элемента рассматриваются присущие только ему процессы потребления отдельными модулями технологической системы (таблица 1).

#### Список литературы:

1. Kasjanov S.V., Kondrashov A.G., Safarov D.T. Research of characteristics of wear proof coating for cutting tools / INTERFINISH-SERIA

2014 International Conference on Surface Engineering for Research and Industrial Applications. 2014. P. 124.

2. Справочник технолога машиностроителя : в 2 т. Т. 2 / под общ. ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., перераб. и доп. М., 2001. 941 с.: ил.

3. Sandvik Coromant Калькулятор режимов резания  
[http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/calculators\\_and\\_software/apps\\_for\\_download/Pages/Machining-Calculator-App.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/calculators_and_software/apps_for_download/Pages/Machining-Calculator-App.aspx)

4. Сафаров Д.Т. Моделирование содержания операций на примере обработки винтовых стружечных канавок сверл / сб. трудов межд. науч.-техн. конф. в 2-х ч. часть 1, книга 1 – Наб. Челны: Изд-во Камской гос. инж.-экономич. академии, 2010 г.. – с. 254-257

5. Сафаров Д.Т. Модель выполнения единичного задания на примере обработки спиральных сверл / сб. трудов межд. науч.-техн. конф. в 2-х ч. часть 1, книга 1 – Наб. Челны: Изд-во Камской гос. инж.-экономич. академии, 2010 г.. – с. 254-257