

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Мубаракшин Ирек Инсафович*

инженер-технолог, аспирант

*Сабиров Айдар Рамазанович*

инженер-технолог, аспирант

Научно-технический центр ОАО «КАМАЗ»,

Казанский федеральный университет

г. Набережные Челны, Республика Татарстан

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА**

#### **NX THERMAL\FLOW**

*Аннотация:* в статье рассматриваются вопросы моделирования системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» с целью предварительной оценки генерации тепловой энергии при обработке, что дает возможность предупредить возникновение брака.

*Ключевые слова:* металорежущие станки, конечно-элементный анализ, тепловые деформации.

Проектирование и изготовление изделия является сложной, многогранной задачей, решение которой связано с учетом различных процессов и явлений. Одним из таких явлений, возникающим при работе практически любого оборудования, является генерация тепловой энергии. Часто производство тепловой энергии является целью процесса, а в ряде случаев – негативным явлением, но в обоих случаях необходимы ее учет и анализ. Особенно это актуально при обработке заготовок на металорежущем оборудовании, так как излишнее теплообразование может привести к снижению стойкости инструмента и потере качества обработки за счёт появления тепловых деформаций в системе.

Решение задачи генерации тепла в процессе металлообработки может быть выполнена с использованием САЕ-систем, например, с помощью модуля «Thermal\flow» программного пакета NX.

Модуль NX Thermal\flow предоставляет инженеру-исследователю широчайший спектр возможностей для моделирования процессов теплопередачи. Заложенные алгоритмы позволяют учитывать передачу тепла за счет теплопроводности, конвекции и лучистого теплообмена.

Развитый математический аппарат, разнообразие физических моделей, сочетание инженерных и численных подходов, заложенных в основу NX Thermal\flow, позволяют эффективно формулировать и решать сложные технические задачи [1, с. 411].

Моделирование технологической системы при таком анализе может быть выполнено в следующей последовательности:

*1. Создание модели сборки.*

На этом этапе была смоделирована система станок – инструмент – приспособление – деталь с целью решения задачи.

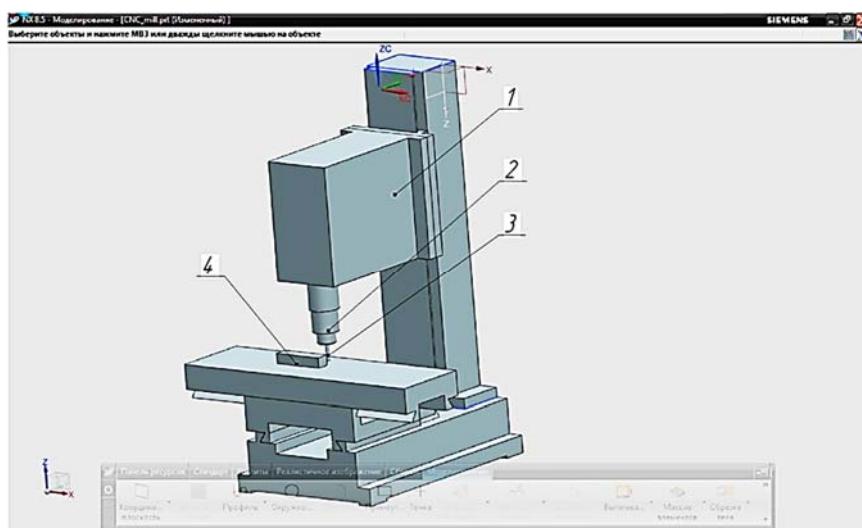


Рис. 1. Сборная модель технологической системы: 1 – станок, 2 – приспособление, 3 – инструмент, 4 – заготовки.

*2. Формирование конечно-элементной модели.*

Далее из файла сборки создаётся новый документ конечно-элементной модели с выбором шаблона NX Thermal\flow. На этом этапе происходит разбиение твердотельных моделей на дискретные области, то есть на конечные элементы, таким образом создается конечно-элементная сетка, так же из встроенной библиотеки материалов программы задаётся материал элементов сборки.

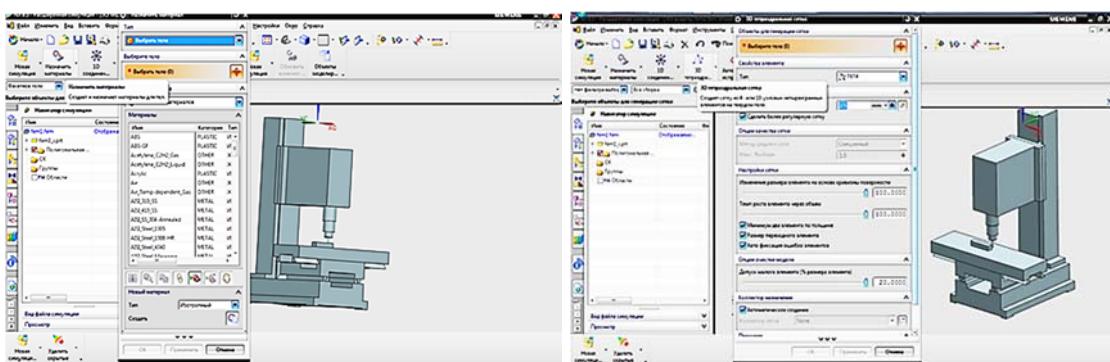


Рис. 2. Задание материала элементов и создание конечно-элементной сетки

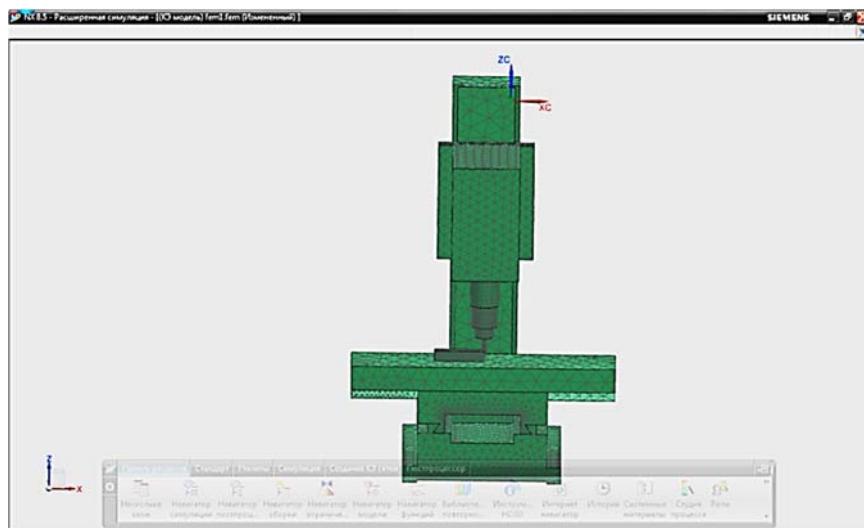


Рис. 3. Конечно-элементная модель технологической системы

### *3. Создание файла симуляции.*

На этом этапе осуществляется подготовка конечно-элементной модели к решению с заданием следующих параметров:

#### 3.1. Тип объекта симуляции.

Этот инструмент предназначен для задания граничных условий, создания тепловых связей, учета различных физических явлений.

Здесь важно задать следующие параметры:

- Эффекты движения твёрдого тела (команда предназначена для задания движения поступательного или вращательного объектов в расчетной модели). С помощью этой команды задаётся вращение инструмента в процессе обработки.
- Тепловая связь (предназначена для создания тепловой проводимости между контактирующими объектами).

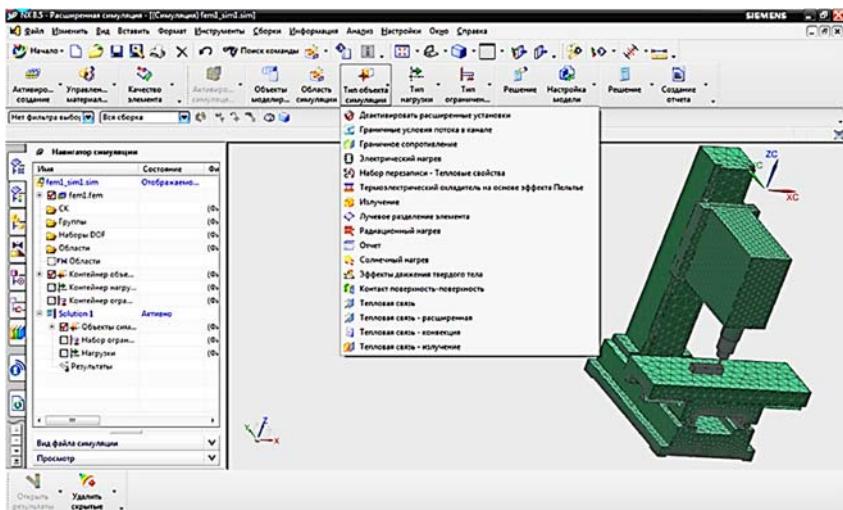


Рис. 4. Задание типа объекта симуляции

### 3.2. Тип нагрузки.

Этот инструмент предназначен для задания источников тепла.

В качестве источника тепла зададим *тепловую нагрузку*, в значение величины подставим мощность резания.

Вычислим мощность резания:

$$t = 2 \text{ мм}$$

$$s = 0,4 \text{ мм/зуб}$$

$$v = 42 \text{ м/мин}$$

где,  $t$  – глубина резания;  $s$  – подача;  $v$  – скорость резания [2, с. 44–46].

Найдём главную составляющую силу резания при фрезеровании [3, с.282].

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z}{n^w \cdot D^q} \cdot K_{mp}$$

где,  $C_p = 68,2$ ;  $K_{mp}=0,85$ ;  $x = 0,86$ ;  $y = 0,72$ ;  $u=0$ ;  $n = 1$ ;  $q = 0,86$ ;  $w = 0$  – коэффициенты, учитывающие условия обработки [3, табл.41, с. 294];  $z$  – число зубьев фрезы;  $B$  – ширина фрезерования;  $n$  – чистота вращения фрезы;  $D$  – диаметр фрезы.

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 2^{0,86} \cdot 0,4^{0,72} \cdot 8^0 \cdot 4}{1671^0 \cdot 8^{0,86}} \cdot 0,85 = 363H$$

Найдём эффективную мощность резания [3, с. 290].

$$N = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}$$

где  $P_z$  – главная составляющая сила резания;  $v$  – скорость резания.

$$N = \frac{363 \cdot 42}{1020 \cdot 60} = 0,249 \text{ кВт}$$

Поученное значение мощности резания подставим в качестве тепловой нагрузки при обработке.

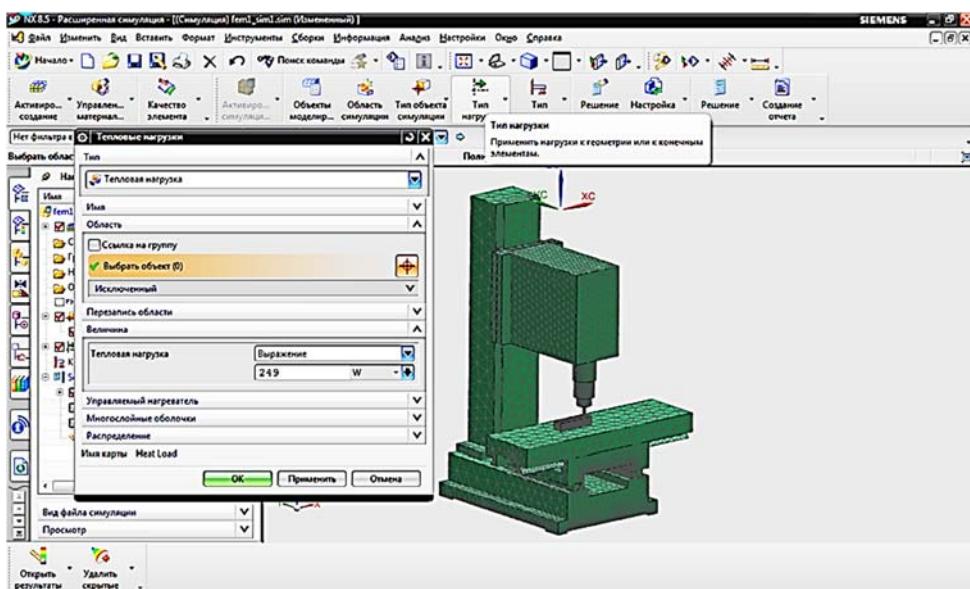


Рис. 5. Создание тепловых нагрузок.

### 3.3. Тип ограничений.

Этот инструмент служит для задания начальных условий и физических процессов теплообмена таких как:

- конвекция в среде;
- естественная конвекция в окружающую среду;
- принудительное охлаждение в среде.

В качестве ограничения задается естественная конвекция в окружающую среду.

Коэффициент конвекции зададим для воздуха (естественная конвекция) в пределах 5-25 Вт/м<sup>2</sup>·К, температуру окружения 20°C.

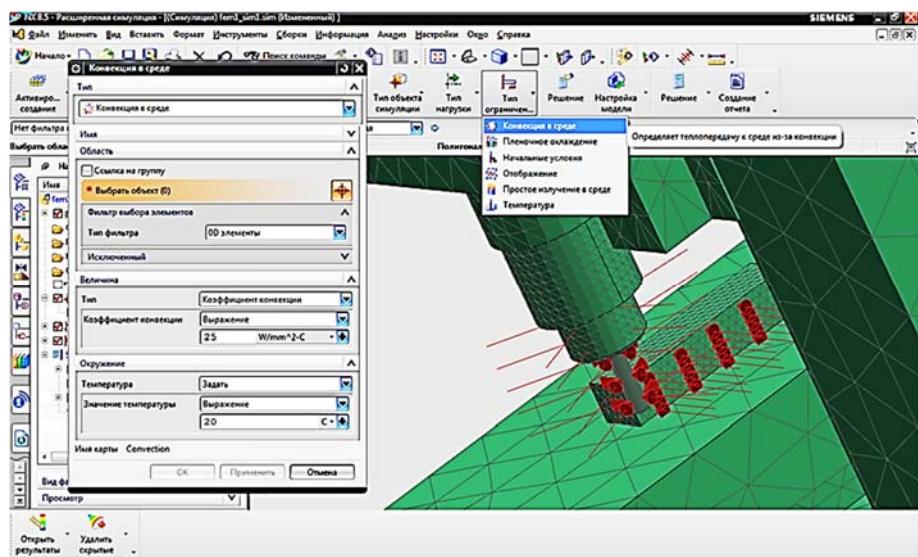


Рис. 6. Задание ограничений

#### 4. Решения и визуализация полученных данных.

Согласно заданным условиям, NX Thermal\flow производит решение системы уравнений и определяет распределение температурного поля в технологической системе (рис.7).

Полученные результаты NX выводит в виде наглядного спектрального графика, показывая области нагрева.

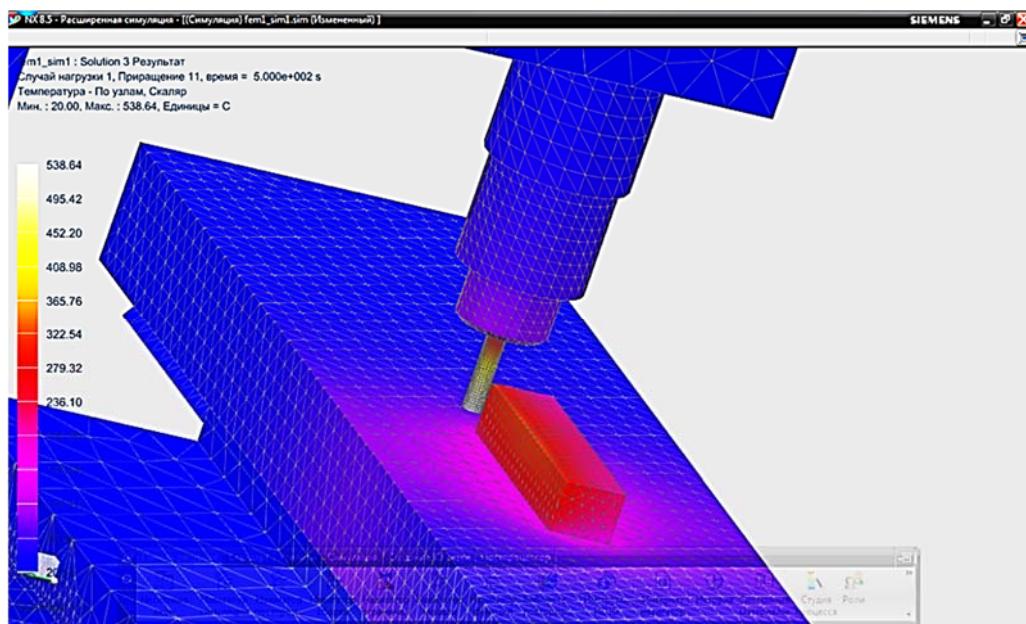


Рис. 7. Распределение температурного поля

## Вывод

Из полученных результатов видно, что наибольшему нагреву подвергается инструмент ( $538^{\circ}\text{C}$ ) заготовка в процессе обработки нагревается меньше ( $318^{\circ}\text{C}$ ), вследствие большей площади поперечного сечения. Так же в результате теплоотдачи в меньшей степени нагреваются стол ( $109^{\circ}\text{C}$ ) и оправка ( $98^{\circ}\text{C}$ ).

Полученные температуры имеют высокие значения и могут серьёзно скажаться на качестве обработки. Возможно появление тепловых деформаций инструмента, что может привести к его поломке или нестабильности положения режущих кромок зубьев. В результате увеличится значение шероховатости поверхности и снизиться точность обработки, так же возможно возникновение дефектного слоя на поверхности заготовки.

В качестве мер борьбы с чрезмерным тепловыделением можно использовать смазочно-охлаждающую жидкость, увеличить диаметр инструмента, подобрать более легкие режимы резания, обеспечивающие меньшую генерацию тепла в процессе обработки.

Данный метод позволит предварительно оценить температуры и внести корректировки в технологический процесс, тем самым, не допустив появления негативных последствий, описанных выше.

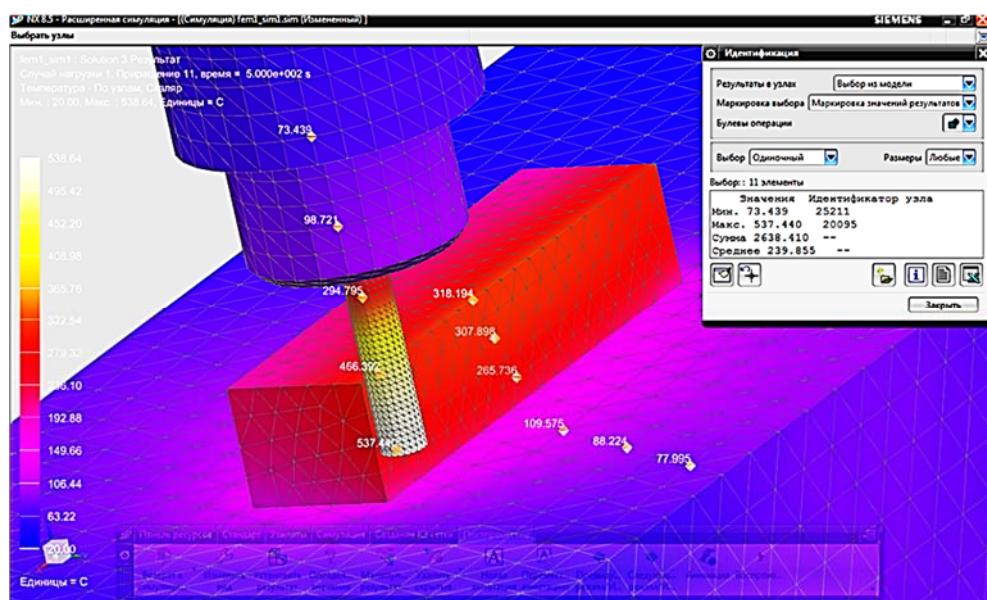


Рис. 8. Результаты расчета

### ***Список литературы***

1. Гончаров П.С. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ / Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф., Денисихин С.В., Сотник Д.Е. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504 с.
2. Барановский Ю.В. Режимы резания металлов: Справочник / Барановский Ю.В., Л.А. Брахман, А. И. Гдалевич М.: НИИТавтопром, 1995.– 456 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 656 с. ил.
4. Рудаков К.Н. FEMAP 10.2.0. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. – К.: КПИ, 2011. – 317 с.