

Створення лабораторної установки для 3D-сканування складається з наступних етапів:

- вибір апаратної платформи і комплектуючих;
- проектування поворотної платформи і кріплення для далекоміра з їх подальшим друком на 3D-принтері;
- проектування та виконання в матеріалі корпусу установки;
- розробка і реалізація програмного алгоритму установки;
- моделювання об'єкта і програмне усунення похибок.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Большаков В. П. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor / В. П. Большаков, А. Л. Бочкова. – СПб. : Питер 2013. – 304 с.

2. Вавулин М. В. Методика и практика 3D-сканирования разнотипных археологических артефактов / М. В. Вавулин, О. В. Зайцева, А. А. Пушкарёв // Сибирские исторические исследования. – 2014. – № 4.

3. Кузнецов В. А. 3D-сканирование, основанное на диффузном отражении света / В. А. Кузнецов // Решетневские чтения. – 2012. – № 16.

4. Ярославцев Ф. Ю. 3D-сканеры. Классификация. Методы измерения расстояния / Ф. Ю. Ярославцев, Я. А. Раевский // «Научно-практический электронный журнал Аллея Науки». – 2017. – № 16

5. Улли Соммер. Программирование микроконтроллерных плат Arduino / Улли Соммер // Freeduino. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 238 с.

## ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ОБЪЕМА НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ПРАВКИ ЛИСТОВ В СРЕДЕ ABAQUS CAE

**Грибков Э. П.**

*ДГМА, г. Краматорск*

При конечно-элементном моделировании немаловажным фактором является дискретность разбиения объема деформируемого материала, которая влияет на точность и время расчета. С увеличением дискретности точность расчета увеличивается, но при этом резко возрастает время на его выполнение. Для определения минимально достаточного количества конечных элементов при сохранении точности по аналогии с работой [1] были выполнены исследования процесса правки листов на многороликовой правильной машине [2–4].

Целью данной работы является определение рационального количества конечных элементов при трехмерном моделировании процесса правки листов по критерию минимума затрат машинного времени при одновременном обеспечении достаточной точности расчета.

В рамках анализа напряженно-деформированного состояния металла при правке продольной кривизны листов был выполнен расчет с использованием метода конечных элементов в системе Abaqus CAE. Рассматриваемая

применительно к анализу процесса правки листов на правильных машинах расчетная схема представляла собой деформируемый лист и 6 рабочих роликов в виде абсолютно твердых тел.

В соответствии с расчетной схемой шаг роликов был принят 275 мм, диаметр рабочих роликов равным 260 мм. Непосредственно моделирование процесса правки было выполнено для листа толщиной 10 мм со свойствами материала:  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ ;  $\mu = 0,3$ ;  $\sigma_m = 400 \text{ МПа}$ . В качестве граничных условий было принято, что ролики имеют одну вращательную степень свободы. В расчете использовалась модель классической пластичности металла.

Контакт между листом и роликами задавался при помощи модели контакта «Поверхность к поверхности» с коэффициентом трения равным 0,2. Рабочие ролики приводились во вращение с угловой скоростью 0,95 рад/сек. Скорость движения листа принята равной 1000 мм/с. Время шага расчета было принято 2,5 с.

Для исследования процесса правки лист разбивали на различное количество ячеек, а именно: 300 (рис. 1, а); 1224 (рис. 1, б); 4545 (рис. 1, в); 7191 (рис. 1, г); 15014 (рис. 1, д). При этом во всех случаях количество элементов по толщине листа было принято равным 5, что является вполне достаточным исходя из особенностей протекания процесса знакопеременного изгиба.

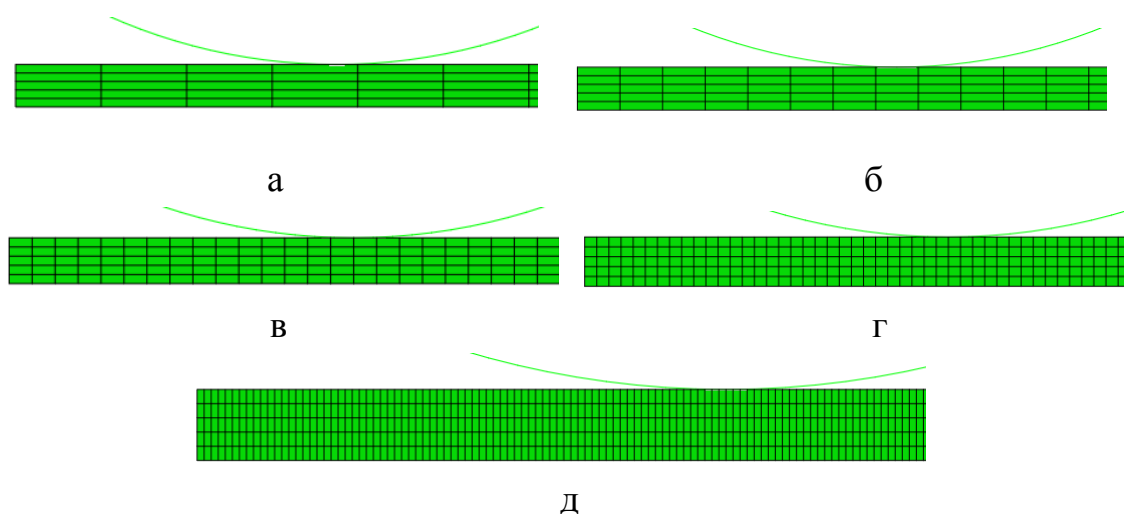


Рисунок 1 – Модели листов с различной дискретизацией объема (количество элементов): а – 750; б – 1500; в – 3000; г – 6000; д – 15000

В процессе расчета фиксировалось время расчета и сила правки на третьем ролике. Было установлено, что с увеличением дискретизации объема деформируемого материала, время расчета увеличивается практически линейно и при количестве ячеек 15120 составляет 4,2 часа (см. рис. 2, а). Полученные значения силы правки имеют значительный разброс, который уменьшается с увеличением количества элементов. Используя полученный во время расчета ряд значений сил правки, был также определен коэффициент вариации их разброса для каждого случая

дискретизации объема, который составил более 15 % в случае использования сетки из 750 элементов и порядка 1 % при увеличении дискретизации более 6000 элементов (рис. 2, б), что позволяет сделать вывод о достаточности разбиения объема металла на уровне 6000 конечных элементов. Дальнейшее увеличение количества конечных элементов является нецелесообразным, так как приводит к значительному повышению времени расчета, более 11000 сек в случае 15000 элементов (см. рис. 2, а).

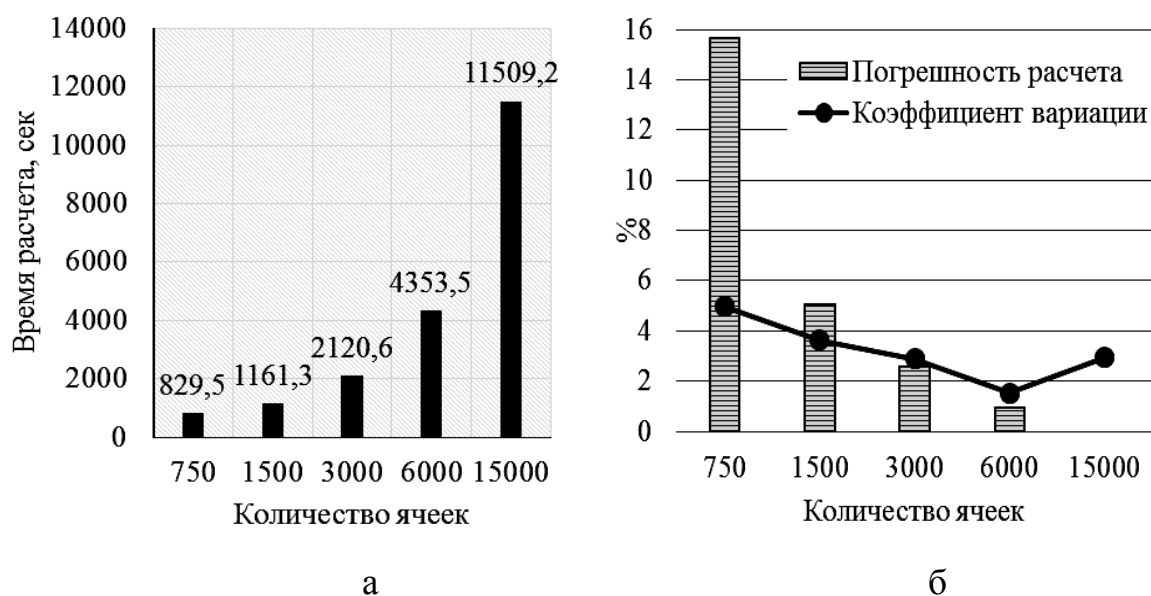


Рисунок 2 – Зависимость времени (а) и точности (б) расчета от количества ячеек

В результате реализации конечно-элементной модели процесса правки листов было установлено, что при моделировании рациональным количеством является 6000 конечных элементов или 1875 ячеек на погонный метр заготовки. При этом время реализации модели составляет приблизительно 1,17 часа при значении коэффициента вариации силы правки на 1 % выше относительно более точного значения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flatness defects after bridle rolls: a numerical analysis of leveling / N. Mathieu, R. Dimitriou, A. Parrico, M. Potier-Ferry, H. Zahrouni // *International Journal of Material Forming*. – 2013. – Vol. 6. – Issue 2. – Pp. 255–266.
2. Park K. Development of a Finite Element Analysis Program for Roller Leveling and Application for Removing Blanking Bow Defects of Thin Steel Sheet / K. Park, S. Hwang // *ISIJ International*. – Vol. 42 (2002), No. 9. – Pp. 990–999. <http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.42.990>
3. Cui L. Analysis of Leveling Strategy for a plate Mill / L. Cui, X Hu, X. Liu // *Advanced Materials Research*. – Vol. 145 (2011). – Pp. 424–428. <http://doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.145.424>
4. Cui L. Research on Mathematical Model of Leveling Process for Plate Mill / L Cui, X. Hu, X. Liu // *Advanced Materials Research*. – Vols. 148–149 (2011). – Pp. 368–371. <http://doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.148-149.368>.