

Simulation and Analysis Novel Technologies in Mechanical Engineering. – 2019. – Vol. 12, № 4. – P. 5–18.

2. Коноваленко, Л. Ю. Применение робототехники в мясной промышленности: аналит. обзор / Л. Ю. Коноваленко, Н. П. Мишуков, М. А. Никитина. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 80 с.

3. Первый в российской мясопереработке завод-робот [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meat-expert.ru/news/2787-pervyyu-v-rossiyskoy-myasopererabotke-zavod-robot-video>. – Дата доступа: 25.09.2022.

УДК 621.833.61

## ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЁТЫ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС С ПОМОЩЬЮ SOLIDWORKS SIMULATION

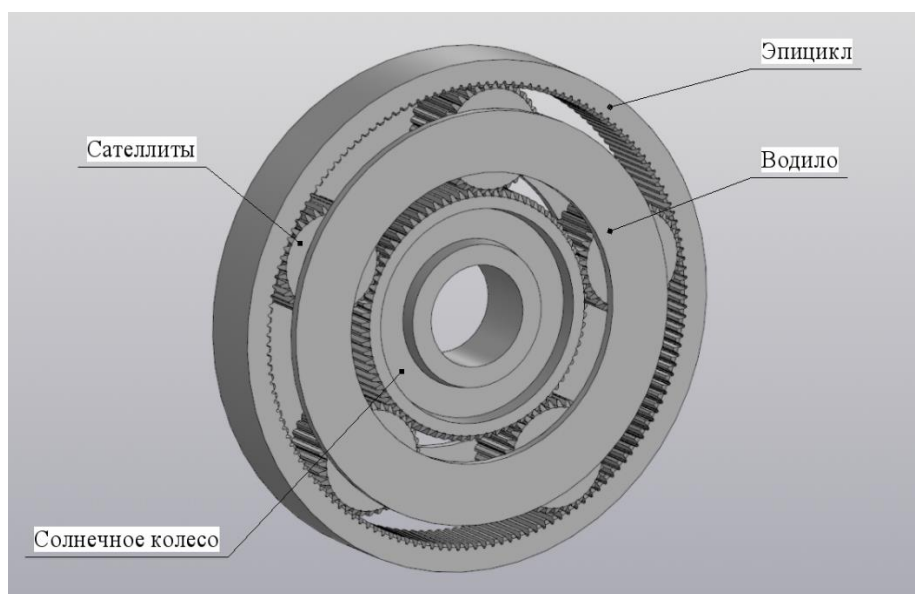
*Логвин А. И., Ковпанько В. А., Онысько С. Р., Бочарова Н. В.*

*Брестский государственный технический университет*

*г. Брест, Республика Беларусь*

Современные системы инженерного анализа (совокупность исследований) – предназначены для проверки работоспособности проектируемых изделий, различных эксплуатационных характеристик (анализа частоты, расчет устойчивости, усталости, испытаний на ударную нагрузку, анализа оптимизации и др.), что позволяет с минимальными затратами времени сопоставить ряд различных альтернативных конструкторских решений [1].

В данной работе объектом исследования является твердотельная параметрическая модель механической системы «Планетарная передача» (рисунок 1). Это механическая передача вращательного движения, которая за счет своей конструкции способна в пределах одной геометрической оси вращения изменять, складывать и раскладывать подводимые угловые скорости и/или крутящий момент.



*Рисунок 1 – Сборочная модель планетарной передачи*

Основными звеньями планетарной зубчатой передачи являются:

- центральные зубчатые колеса, оси которых неподвижны;
- сателлиты (зубчатые колеса с перемещаемыми осями вращения);
- водило (звено в котором установлены оси сателлитов).

Инженерный анализ производится при помощи инструментов программного комплекса *SolidWorks*, который содержит интегрированный модуль *Simulation* для разного рода исследований. Объединение деталей в механическую систему выполнялось, соблюдая все правила условий сопряжения сборки. Для механического зацепления зубьев использовался дополнительный инструмент программы «*Механические сопряжения → Редуктор*», необходимый для соединения деталей с элементами зацепления и передачи крутящего момента между шестернями.

Для оценки годности детали были выбраны критерии: прочность, коэффициент запаса прочности; сопротивление усталости.

*Прочность* – способность материала (образца, детали, элемента конструкции) не разрушаясь сопротивляться действию внешних сил. Целью расчета является определение размеров деталей или величины внешних нагрузок.

*Коэффициент запаса прочности (FOS)* – величина, показывающая способность конструкции выдерживать прилагаемые к ней нагрузки выше расчетных. Наличие запаса прочности обеспечивает дополнительную надёжность конструкции, чтобы избежать повреждений и разрушения в случае возможных ошибок проектирования, изготовления или эксплуатации.

Для расчета запаса прочности используется критерий максимального напряжения по Мизесу, определяющий момент, когда пластичный материал начинает растягиваться и эквивалентное напряжение достигает предела текучести.

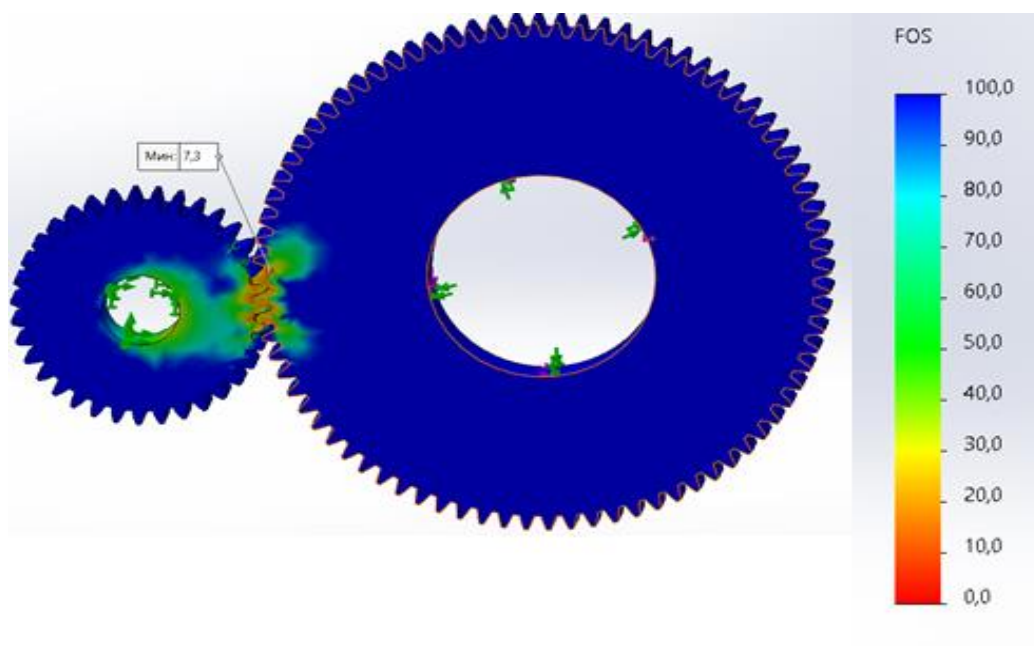
Для оценки несущей способности деталей, после сборки механизма в *SolidWorks*, для модели выполнялись проверочные расчеты, определялся коэффициент запаса прочности по *von Mises (FOS)*, по результатам которого можно оценить эксплуатационные качества шестерни (зубьев шестерни) в зоне контакта [2].

Основным материалом зубчатых колес является сталь, подвергнутая термической обработке. Колеса изготавливают из кованных и штампованных заготовок или применяют круглый прокат. Для этого используют среднеуглеродистые и низкоуглеродистые стали [3].

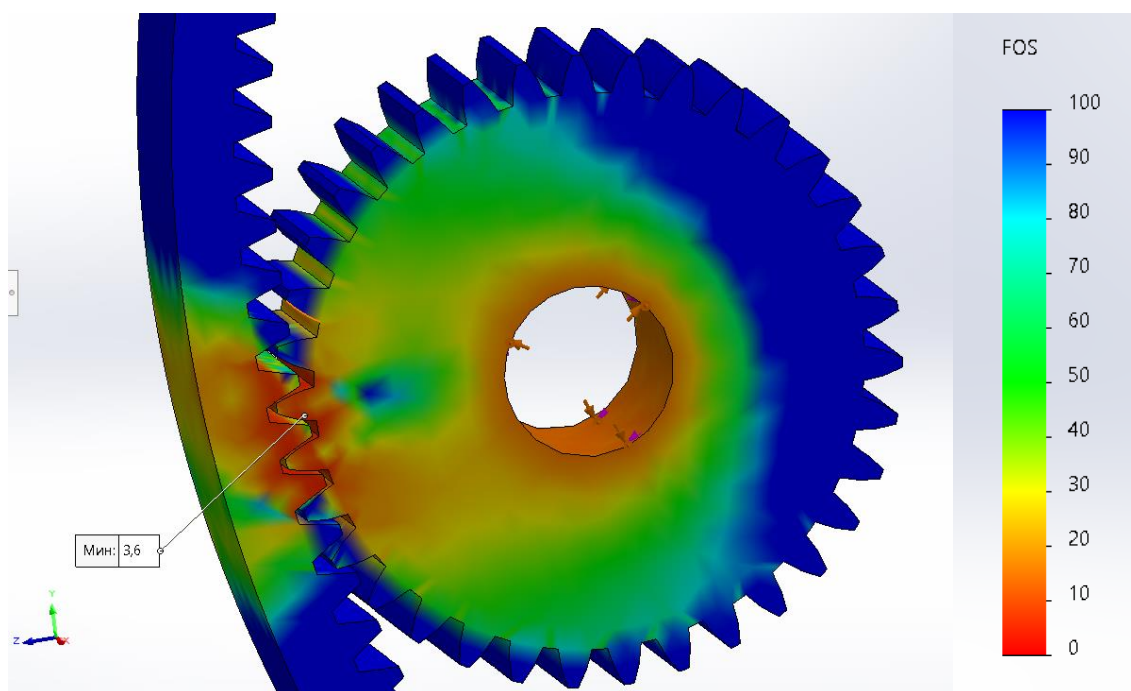
Для статического расчета деталей планетарной передачи в *SolidWorks* был выбран материал – сталь 40ХН и определены условия закрепления элементов, а также приложение внешней нагрузки: одна шестерня фиксируется, к другой шестерне применяется крепление «*зафиксированный шарнир*», для того чтобы, вращаясь, она испытывала сопротивление от зафиксированной шестерни. Внешняя нагрузка на подвижную шестерню передавалась в виде вращающего момента.

От параметра «*сетка*» зависит насколько точно можно получить результаты расчета. Для построения модели применялась «*сетка*» высокой точности и с улучшением ее в месте зацепления зубьев, для получения максимально точных результатов исследования.

Результаты напряжённо-деформированного состояния зубчатого зацепления «сателлит» – «солнечное колесо», «эпицикл» – «сателлит», представлены на рисунке 2 и рисунке 3 соответственно.



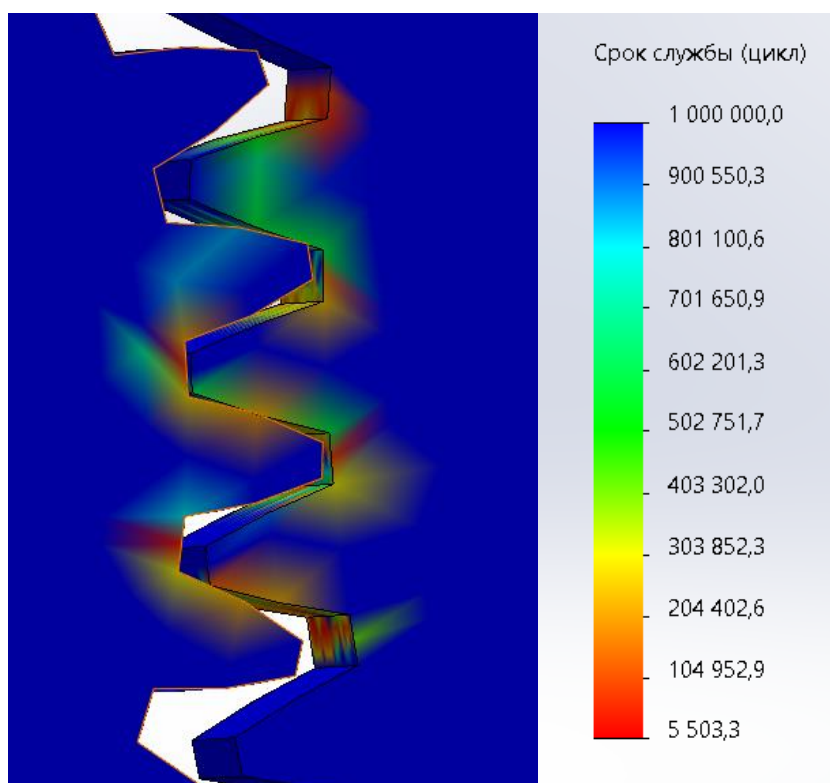
*Рисунок 2 – Статический расчет напряжённо-деформированного состояния «сателлит» – «солнечное колесо»*



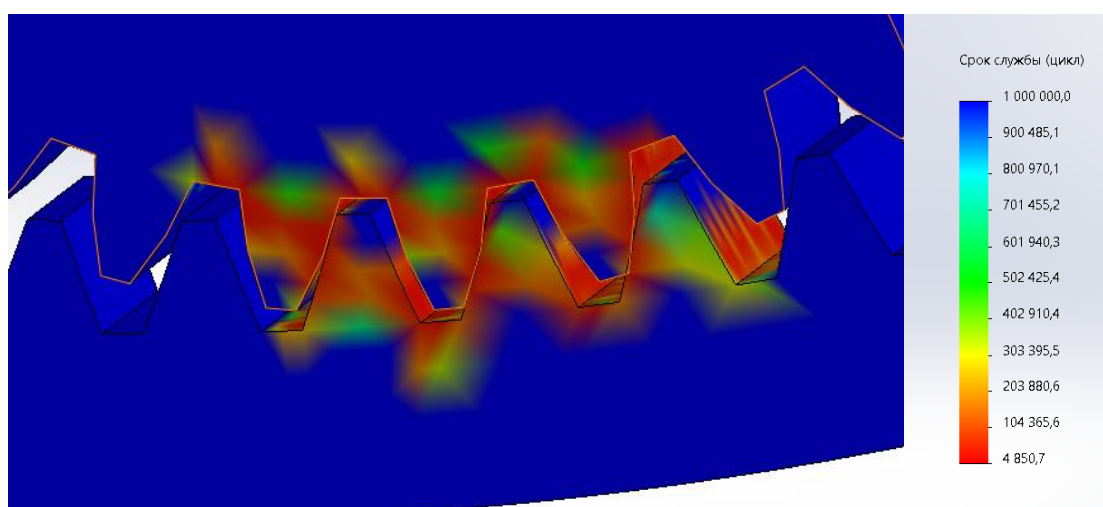
*Рисунок 3 – Статический расчет напряжённо-деформированного состояния «эпицикл» – «сателлит»*

Размеры и массу зубчатых колес планетарных передач определяют с помощью следующих расчетов: на контактную прочность активных поверхностей зубьев, на изгиб зубьев [4].

Для получения результатов долговечности отдельных частей механизма было выполнено усталостное исследование, зубчатого зацепления «сателлит» – «солнечное колесо» (рисунок 4) и «эпицикл» – «сателлит» (рисунок 5).



**Рисунок 4 – Усталостное исследование «спутник» – «солнечное колесо»**



**Рисунок 5 – Усталостное исследование «эпицикл» – «спутник»**

В ходе выполнения виртуальных экспериментов были получены напряжённо-деформированное состояние зубчатого зацепления элементов планетарной передачи, усталостный расчет для получения срока службы. Применение данных методов расчета статической прочности на этапе проектных работ помогает конструктору увидеть наиболее нагруженные места, минимизировать ошибки проектирования и снизить трудозатраты, более рационально подойти к конструированию. Также использование модуля *SolidWorks Simulation*, встроенного в *SolidWorks*, позволяет произвести полный комплекс всех необходимых расчетов прочности, а также спроектировать надежный узел с минимальными массово-экономическими затратами в производстве и эксплуатации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства : учебное пособие / С. В. Лукинских; М-во науки и высш. обр. РФ. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 168 с.
2. Водопьянов, В. И. Курс сопротивления материалов с примерами и задачами : учеб. пособие / А. Н. Савкин, О. В. Кондратьев. – ВолгГТУ : Волгоград, 2012. – 136 с.
3. Кокорев, И. А. Курс деталей машин: учеб. пособие / И. А. Кокорев, В. Н. Горелов. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2017. – 287 с.
4. Кудрявцев, В. Н. Планетарные передачи / В. Н. Кудрявцев. – Справочник. Издание 2-е, перераб. и доп. – М., 1966 – 536 с.

УДК 621.91

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

*Мартиновская О. В.<sup>1</sup>, Жорник В. И.<sup>2</sup>*

- 1) *Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Республика Беларусь*
- 2) *Объединённый институт машиностроения НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Машиностроение в значительной степени определяет состояние научно-технического и производственного потенциала ведущих отраслей мировой экономики, стремление поддерживать предприятиями конкурентоспособность выпускаемой продукции стимулирует непрерывное развитие машиностроительной отрасли. С этой целью ведутся работы как над повышением работоспособности оборудования, его долговечности и безотказности, так и над снижением себестоимости производства, что напрямую зависит от экономии трудовых, материальных и энергетических ресурсов, затрачиваемых на выпуск продукции. Стремясь повысить конкурентоспособность машин, производители увеличивают скоростные и силовые возможности агрегатов, что неизбежно влечёт за собой ужесточение требований к прочности и надёжности составляющих их деталей и узлов. Увеличение ресурса наиболее ответственных элементов механизмов можно обеспечить за счёт разработки новых технологических процессов их изготовления, включая операции, позволяющие улучшить качество рабочих поверхностей деталей. С ростом требований к точности и качеству получаемых поверхностей более остро встают задачи совершенствования технологии чистовой и финишной обработки.

Работа над повышением эффективности производства также заставляет непрерывно улучшать существующие технологии и рассматривать новые способы обработки деталей. Особенно актуальным это становится, когда перед предприятием встаёт вопрос о необходимости перевооружения производства.