

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.В. Давыдов, Е.В. Фомин (Северодвинск)

Одним из ключевых факторов, определяющий устойчивое развитие современных машиностроительных предприятий и переход их на стадию нового индустриального развития, является внедрение цифровизации, в том числе внедрение аддитивных технологий, как неотъемлемой части цифрового производства.

В статье ставится задача повышения производительности изготовления механизма «Валоповоротного устройства». Для этого авторами статьи производится топологическая оптимизация корпуса механизма «Валоповоротного устройства» в программном комплексе SolidEdge.

Предпосылки использования технологии топологической оптимизации для изделий судового машиностроения

Топологическая оптимизация (одно из направлений технологии Генеративного дизайна) – принципиально новая технология проектирования. Основана она на применении программного обеспечения, способного самостоятельно, без участия конструктора, генерировать трехмерные модели, отвечающие заданным условиям.

Топологическая оптимизация – это то, что позволяет задать оптимальный баланс массы и прочности для конкретной детали. При таком методе проектирования можно создать наиболее оптимальный проект или форму детали, учитывая заранее заданные коэффициенты (например, коэффициент запаса прочности). Технология топологической оптимизации основана на анализе методом конечных элементов, который разбивает конструкцию исследуемой детали на элементы и вершины и убирает из расчета некоторые элементы детали, которые не несут нагрузки [3].

Детали и сборки, оптимизированные с помощью данной технологии, обладают сложной геометрией, а их изготовление традиционными методами производства экономически невыгодны, а в некоторых случаях невозможны вообще. Именно поэтому изготавливать такие детали рациональнее методом аддитивного производства, который является неотъемлемой частью современного цифрового предприятия и позволяет снизить продолжительность цикла «чертеж – изделие», сократить трудоемкость, материалоемкость и энергоемкость, а также создать экологически чистое производство и повысить производительность при изготовлении деталей в целом.

Предпосылками для использования в машиностроении технологии топологической оптимизации в процессе проектирования послужили: повышение возможностей 3D-печати, рост качества аддитивных технологий в целом, появление в Российской Федерации «Ассоциации развития аддитивных технологий», поставившей своей целью развитие отрасли аддитивных технологий в РФ, а также мировой положительный опыт в таких отраслях промышленности, как авиакосмическая отрасль, автомобилестроение и медицина.

Топологическая оптимизация корпуса «Валоповоротного устройства» в Solid Edge

Общий вид валоповоротного устройства (далее ВУ), детали которого изготовлены традиционным методом (механическая обработка), представлен на рисунке 1, корпус «Валоповоротного устройства», который будет рассчитан методом топологической оптимизации, представлен на рисунке 2.

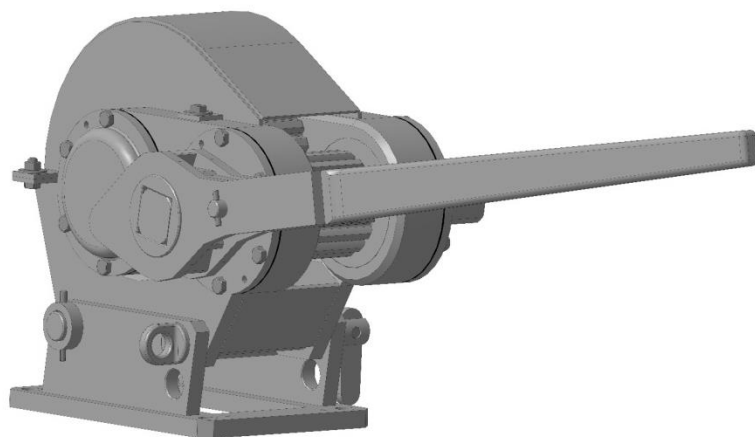


Рисунок 1 – Общий вид ВУ (модель создана в КОМПАС-3D v17)

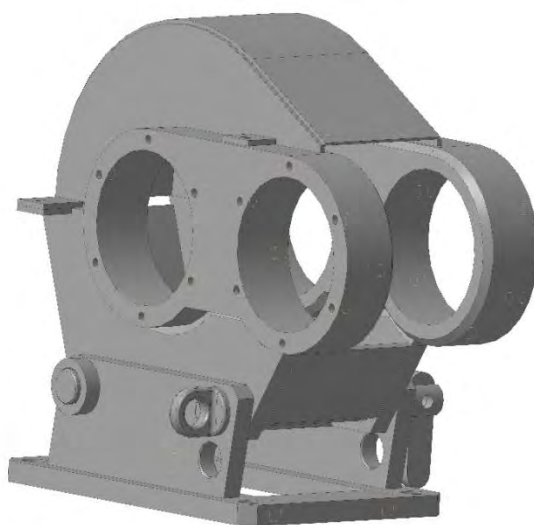


Рисунок 2 – Корпус ВУ

Перед применением топологической оптимизации в программном комплексе Solid Edge ST10, нижнюю часть корпуса ВУ необходимо доработать, исключив все крепления для нижней опоры. Доработанная нижняя часть корпуса ВУ представлена на рисунке 3.

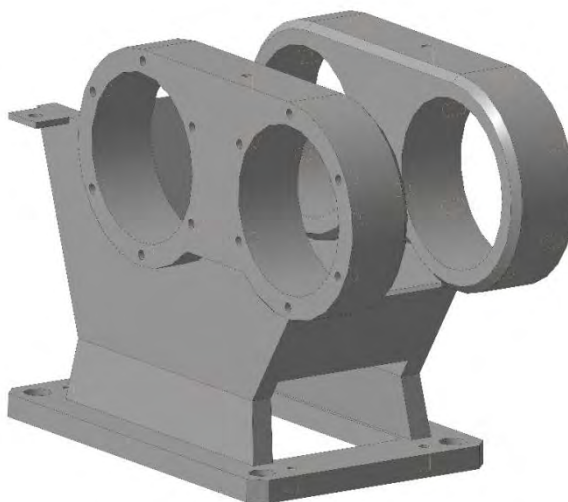


Рисунок 3 – Доработанная нижняя часть корпуса ВУ

Перед проведением топологической оптимизации необходимо заранее сохраненный в программном комплексе КОМПАС-3D v17 в формате STL корпус ВУ импортировать в Solid Edge ST10 и произвести распознавание поверхностей его деталей, а также задать все граничные условия. Порядок задания граничных условий нижней части корпуса ВУ выглядят следующим образом. Во-первых, необходимо задать материал для корпуса, характеристики которого представлены на рисунке 4.

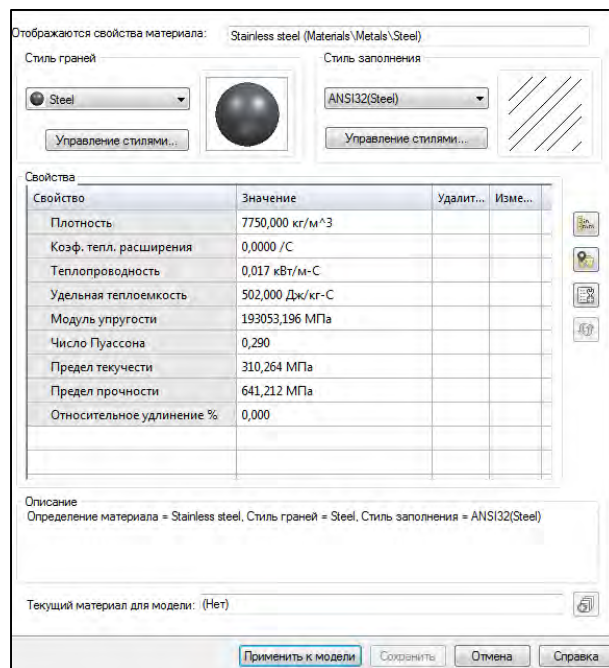


Рисунок 4 – Характеристики выбранного материала для нижней части корпуса ВУ

Во-вторых, указать неизменяемые области (в данном случае неизменяемыми областями являются отверстия под крепеж с сопрягаемыми деталями и места для установки подшипников – рис. 5). Стоит отметить, что неизменяемые области – это те области, которые в процессе проведения топологической оптимизации не подвергаются каким-либо изменениям, т.е. удалению ненагруженных элементов и изменению геометрии.

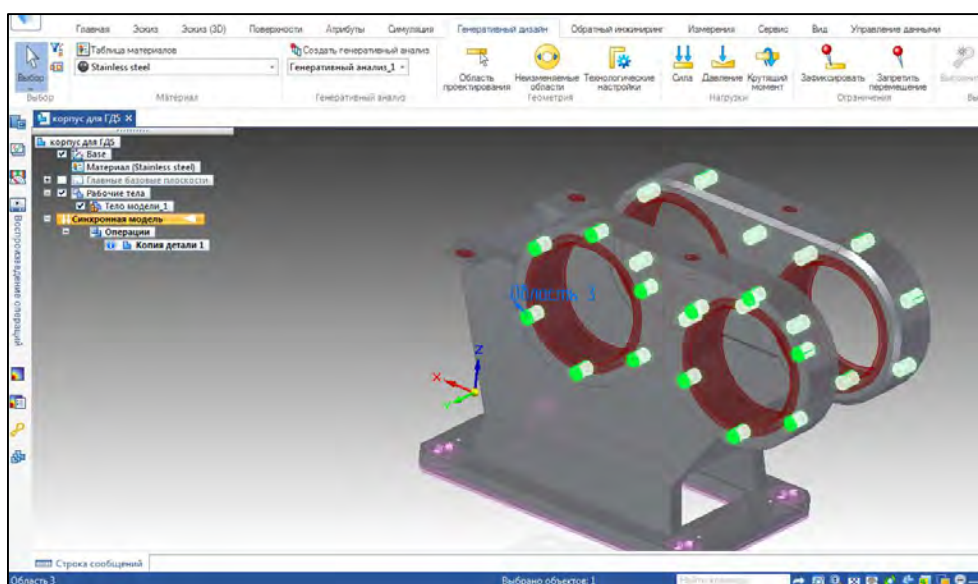


Рисунок 5 – Задание неизменяемых областей для нижней части корпуса ВУ

Следующим этапом указываем нагрузки, которыми подвергается корпус ВУ в процессе его эксплуатации (в нашем случае это силы в районе подшипников, равные 2000 Н – рис. 6).

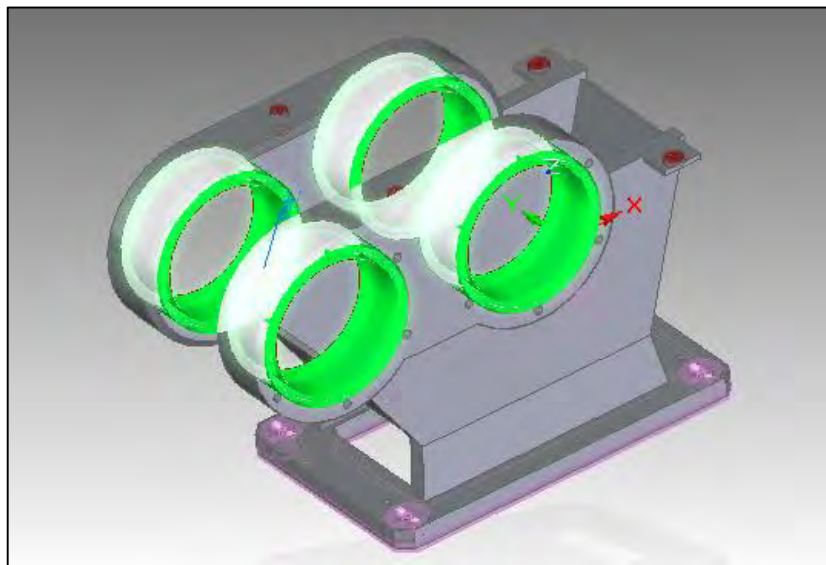


Рисунок 6 – Задание нагрузки 2000 Н в районе установки подшипников

Далее, как и во всех современных САЕ-системах, необходимо указать закрепления модели в пространстве, соответствующие его реальным условиям эксплуатации (в нашем случае это нижняя грань корпуса ВУ – рис. 7).

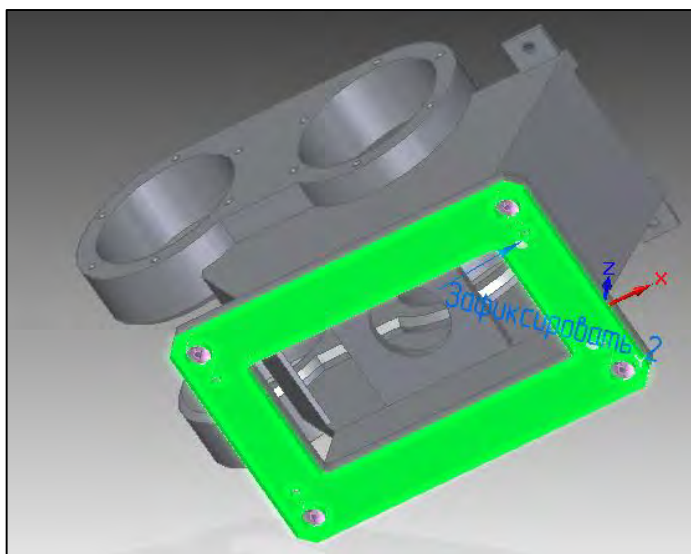


Рисунок 7 – Установка закрепления нижней части корпуса ВУ в пространстве

Заключительным этапом задания граничных условий является установка параметров расчета (рис. 8), а именно: установка качества расчета (в нашем случае качество расчета низкое – для ускорения процесса оптимизации), указание процентного соотношения уменьшения массы конечного изделия (40%) и минимального коэффициента запаса прочности оптимизированной конструкции [1, 3].

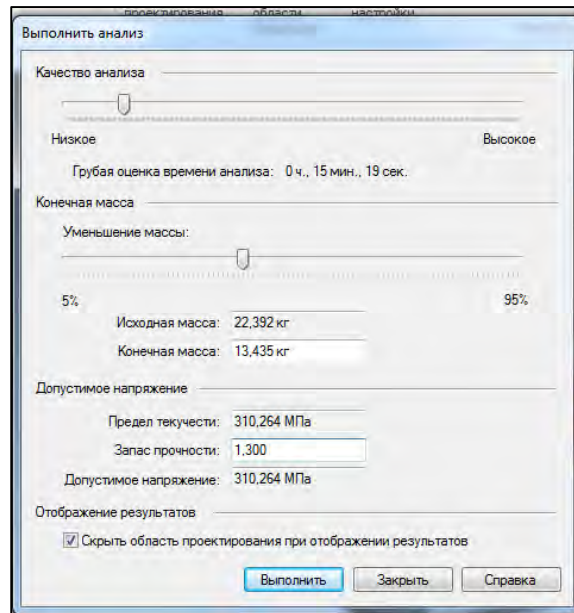


Рисунок 8 – Параметры расчета топологической оптимизации

Аналогичные действия по заданию граничных условий расчета топологической оптимизации произведем с крышкой корпуса ВУ и корпусом ключа-трещотки ВУ (рис. 9).

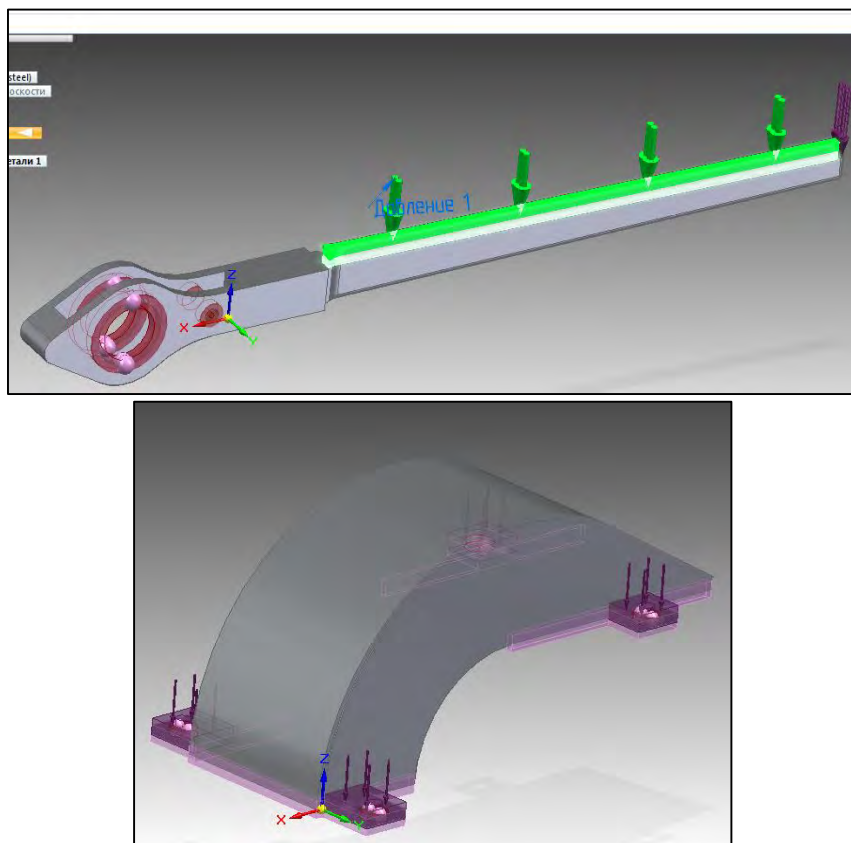


Рисунок 9 – Задание граничных условий для крышки корпуса ВУ и корпуса ключа-трещотки ВУ

Решения, полученные в результате топологической оптимизации, имеют фасетный вид, т. е. трехмерные модели нижней части корпуса ВУ, крышки ВУ и корпуса ключа-трещотки представлены в виде облака точек, описывающего их внешний облик. Однако с помощью технологии объединенного моделирования (англ.

Convergent Modeling), который представлен в программном комплексе Solid Edge ST10, BREP (твердотельное) и фасетное представление объединяются в одной модели. Тем самым появляется возможность редактировать модели, полученные в результате топологической оптимизации.

Результат топологической оптимизации для корпуса ВУ представлен на рисунке 10.

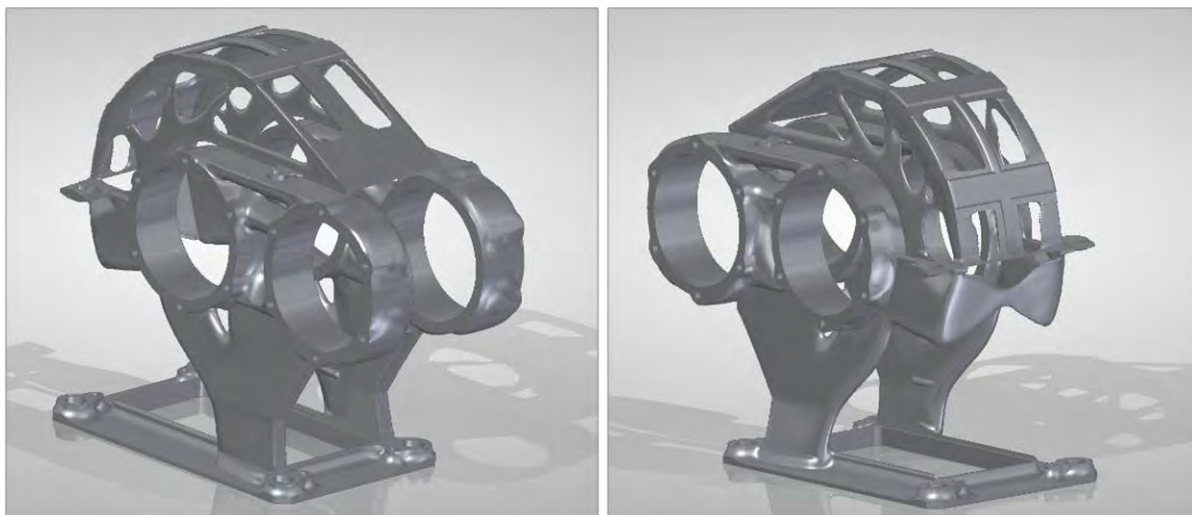


Рисунок 10 – Результат топологической оптимизации в Solid Edge ST10 для корпуса ВУ

Общий вид ВУ с оптимизированным корпусом и ключом-трещоткой представлен на рисунке 11.

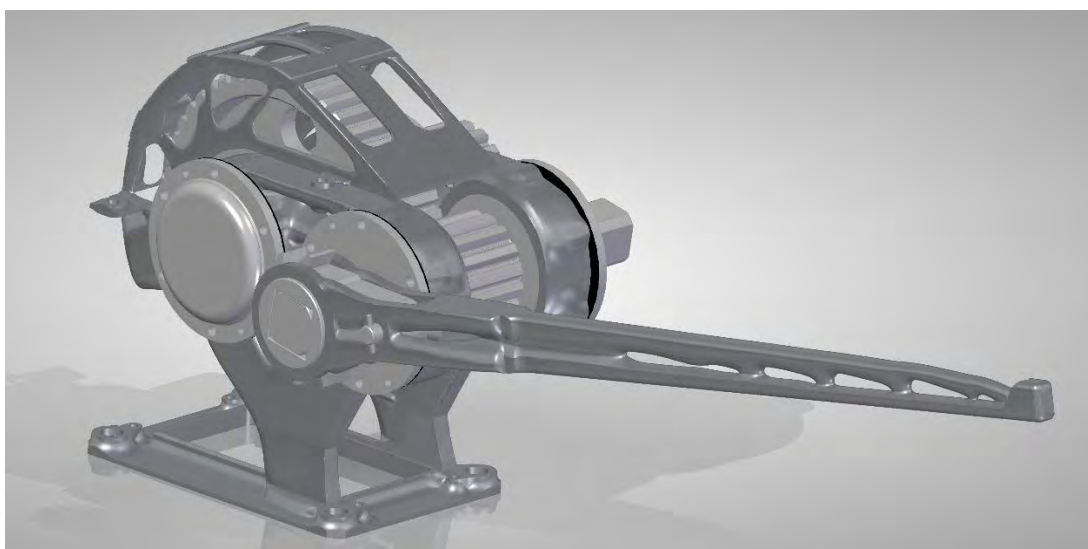


Рисунок 11 – Общий вид ВУ с оптимизированным корпусом и ключом-трещоткой

Сравнительный рисунок корпуса ВУ «до» и «после» применения топологической оптимизации представлен на рисунке 12.

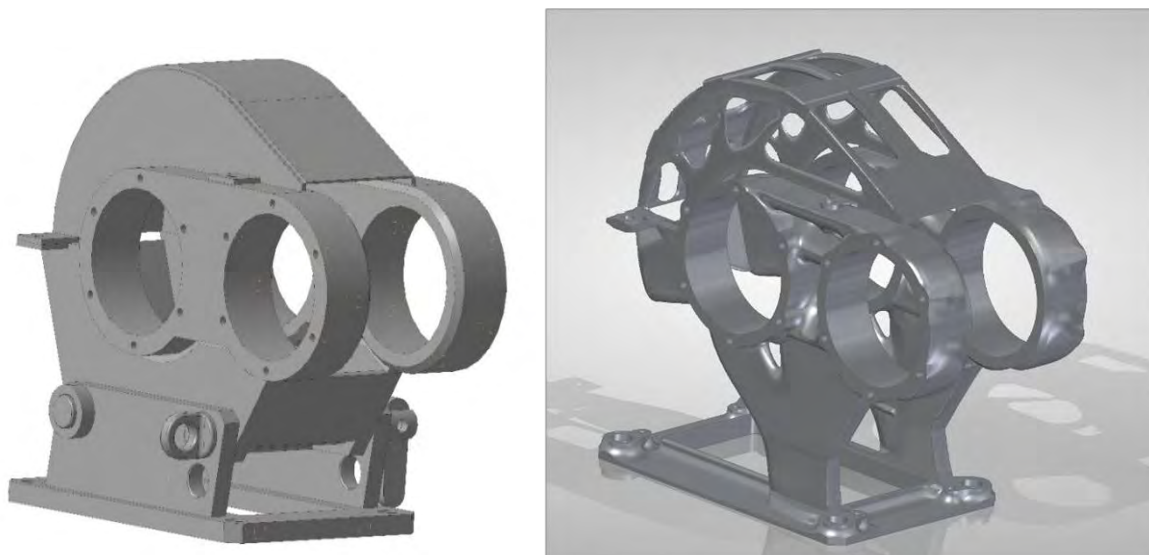


Рисунок 12 – корпус ВУ «до» и «после» применения генеративного проектирования в Solid Edge ST10

Анализ результатов топологической оптимизации корпуса «Валоповоротного устройства»

После проведенного исследования по оптимизации корпуса ВУ в программном комплексе Solid Edge ST10 были получены следующие результаты:

1) Снижение массы:

а) масса корпуса ВУ снизилась на **48,7 %** (с 28,53 кг до 14,635 кг);

б) масса корпуса ключа-трещотки снизилась на **20,3 %** (с 5,57 кг до 4,44 кг);

в) общая масса всей сборки ВУ снизилась на **20,3 %** (с 73,9 кг до 58,875 кг).

2) Уменьшение числа компонентов сборки (стандартные изделия не учитывались):

а) число компонентов сборки корпуса ВУ снизилось на **91 %** (было 22 компонента стало 2 компонента);

б) число компонентов сборки корпуса ключа-трещотки снизилось на **75 %** (было 4 компонента стал 1 компонент);

в) число компонентов общей сборки ВУ снизилось на **64 %** (было 36 компонентов стало 13 компонентов).

Таким образом, при помощи технологии топологической оптимизации, проведенной в данном исследовании для корпуса ВУ и корпуса ключа-трещотки ВУ, добились снижения массы данных изделий без ухудшения их прочностных характеристик, что позволит снизить расход материала и, соответственно, снизить стоимость оптимизированных изделий в целом. Уменьшение количества сборочных единиц механизма ВУ позволит сократить общее время всех сборочных операций.

Полученная геометрия оптимизированных изделий позволяет максимально эффективно применить при их изготовлении аддитивные технологии. Благодаря таким технологиям становится возможным снижение продолжительности цикла «чертеж – изделие» (не требуется наличие оснастки и прототипов, а изготовление детали производится непосредственно после подготовки цифровой модели), сокращение трудоемкости и материалоемкости (послойное создание изделий позволяет сократить расход материалов) и энергоемкости (за счет снижения количества технологических операций). Данные положительные результаты от применения аддитивных технологий

позволяют существенно повысить производительность изготовления механизма «Валоповоротного устройства».

Аддитивные технологии являются неотъемлемой частью современного цифрового предприятия, и их внедрение в производство позволяет многим предприятиям перейти на стадию нового индустриального развития – цифрового предприятия. Применение топологической оптимизации в процессе проектирования позволяет добиться максимального эффекта от использования аддитивных технологий, т. к. данная технология дает лучшие решения изготовления деталей, которые ранее традиционными методами изготовления не могли быть реализованы. В таких обстоятельствах применение топологической оптимизации в процессе проектирования и аддитивных технологий в процессе изготовления дает неоспоримое преимущество многим предприятиям в условиях высокой конкуренции на рынке машиностроения.

Литература

1. **А.А. Черепашков, Н.В. Носов.** Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении, Издательский дом «Ин-Фолио», 2009 г., 635 стр.
2. **Е. Липкин.** ИНДУСТРИЯ 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции, М.: ООО «Остек-СМТ». 2017 г. 224 стр.
3. **Чад Джексон (Chad Jackson).** Новое поколение моделирования. Журнал в области САПР «CADMASTER»: выпуск № 1 (87), 2018 г. 114 стр.
4. **Д. Зиновьев,** Основы конструирования в Solid Edge ST10. Синхронная среда. «Студия Vertex». 2018 г., 206 стр.