



**Рисунок 2 – Пример 1 фотореалистичной визуализации в 3Ds Max**



**Рисунок 3 – Пример 2 фотореалистичной визуализации в 3Ds Max**

#### **Список цитированных источников**

1. Хейфец, А.Л. Инженерная 3D-компьютерная графика : учеб. пособие для бакалавров / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева ; под ред. А.Л. Хейфеца. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2017. – 464 с.
2. Горелик, А.Г. Самоучитель 3ds Max 2018 / А.Г. Горелик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 528 с.
3. YouTube-канал «3D School Gripinsky» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/user/gripinsky>. – Дата доступа: 20.04.2020.

УДК 691.87

**Головий Н. В.**

**Научный руководитель: Бочарова Н. В.**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОРОЧНОГО ЧЕРТЕЖА, РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ОПТИМИЗАЦИЯ В ПРОГРАММЕ SOLIDWORKS**

**Введение.** Задача проектирования – создание машины, отвечающей потребностям народного хозяйства, дающей наибольший экономический эффект и обладающей высокими технико-экономическими показателями. Основные тенденции современного машиностроения: повышение быстроходности и мощности машин, их автоматизация, автоматизация производственных процессов за счет использования станков с числовым программным управлением (ЧПУ), робототехнических комплексов и гибких автоматизированных производственных систем (ГАПС) [3].

Целью этой работы является рассмотрение современных и технологичных методов проектирования и расчёта узла, оценка полученных результатов и подбор оптимальных параметров кронштейна. Создание трёхмерной модели сборочного узла кронштейна, выполнение статического расчёта в SolidWorks Simulation, для чего необходимо выполнение следующих шагов: задание материала кронштейна, задание креплений в местах закрепления кронштейна, задание контактов компонентов в местах их соединений, задание нагрузки 20кН на основание кронштейна.

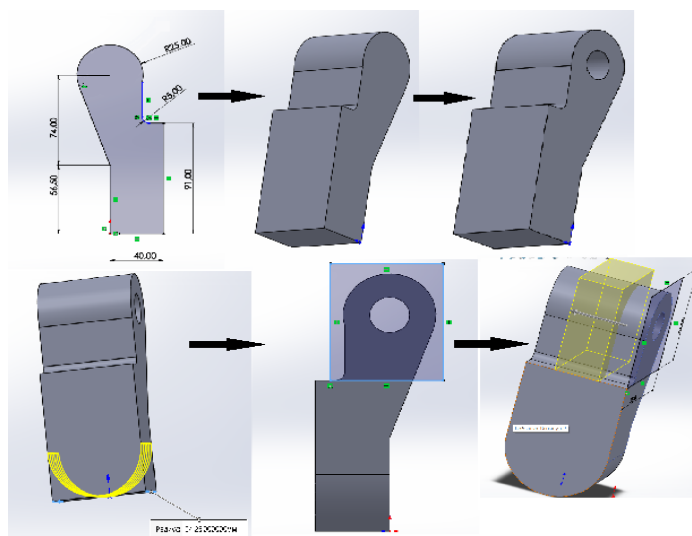
Программный комплекс SolidWorks позволяет построить трёхмерную твердотельную параметрическую модель сборочного узла и выполнить статический расчёт в SolidWorks Simulation.

К кронштейну, как к законченной сборочной единице, предъявляются следующие требования: прочность, жёсткость, виброустойчивость, надёжность, технологичность. Эти требования называются критериями работоспособности [2].

- Прочность – способность сопротивляться нагрузкам, не разрушаясь и не имея при этом больших пластических деформаций. Это один из главных критериев.
- Жёсткость – это способность детали сопротивляться изменению формы под действием сил.
- Виброустойчивость. Вибрация вызывает дополнительные переменные напряжения и приводит к усталостному разрушению деталей. Особенно опасными являются резонансные колебания.
- Надёжность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя значения установленных эксплуатационных показателей в определённых пределах.
- Технологичность – одна из комплексных характеристик сборочного узла, которая выражает удобство его производства, ремонтпригодность и эксплуатационные качества.

### Проектирование детали и сборочного узла в SOLIDWORKS [1]

Создание узла разделим на несколько этапов создания каждой детали. Рассмотрим на примере вилки. Для этого выполняется создание эскиза на плоскости, затем по эскизу создаётся объёмная модель вилки при помощи инструмента «вытянутая бобышка», выполняется скругление основной части детали, используя инструмент «вытянутый вырез», вырезается отверстие будущих петель и часть твёрдого тела.



**Рисунок 3 - Создания трёхмерной параметрической модели детали «вилка»**

Таким образом выполняется проектирование остальных деталей сборочного узла – основание, стойка, ребро, проушина, заклёпки, штифты. Моделирование сборочного узла кронштейна выполняется путём сборки деталей в следующей последовательности: выбирается основание как фиксированная деталь, остальные детали добавляются как компоненты сборки, и, используя инструмент «условия сопряжения», детали фиксируются относительно основания, добавляется сварной шов.

**Расчет на прочность.** Для расчета на прочность будет использоваться программный комплекс SolidWorks Simulation.

Использование SolidWorks Simulation даёт возможность быстро и точно получить развёрнутый анализ узла, детали, сборки. Имеется возможность проработки разных вариантов эксплуатации, нагружения, закрепления, контакта компонентов узла. Это даёт возможность определить наиболее подходящий материал деталей, размеры конструктивных элементов, варианты крепёжных элементов, а также при расчёте оптимизировать характеристики узла. Возможность получить визуализированные эпюры напряжений, перемещений, деформаций позволяет наиболее точно определить места опасных сечений, изменить характеристики узла на стадии проектирования, без затрат на изготовление и испытание опытных образцов.

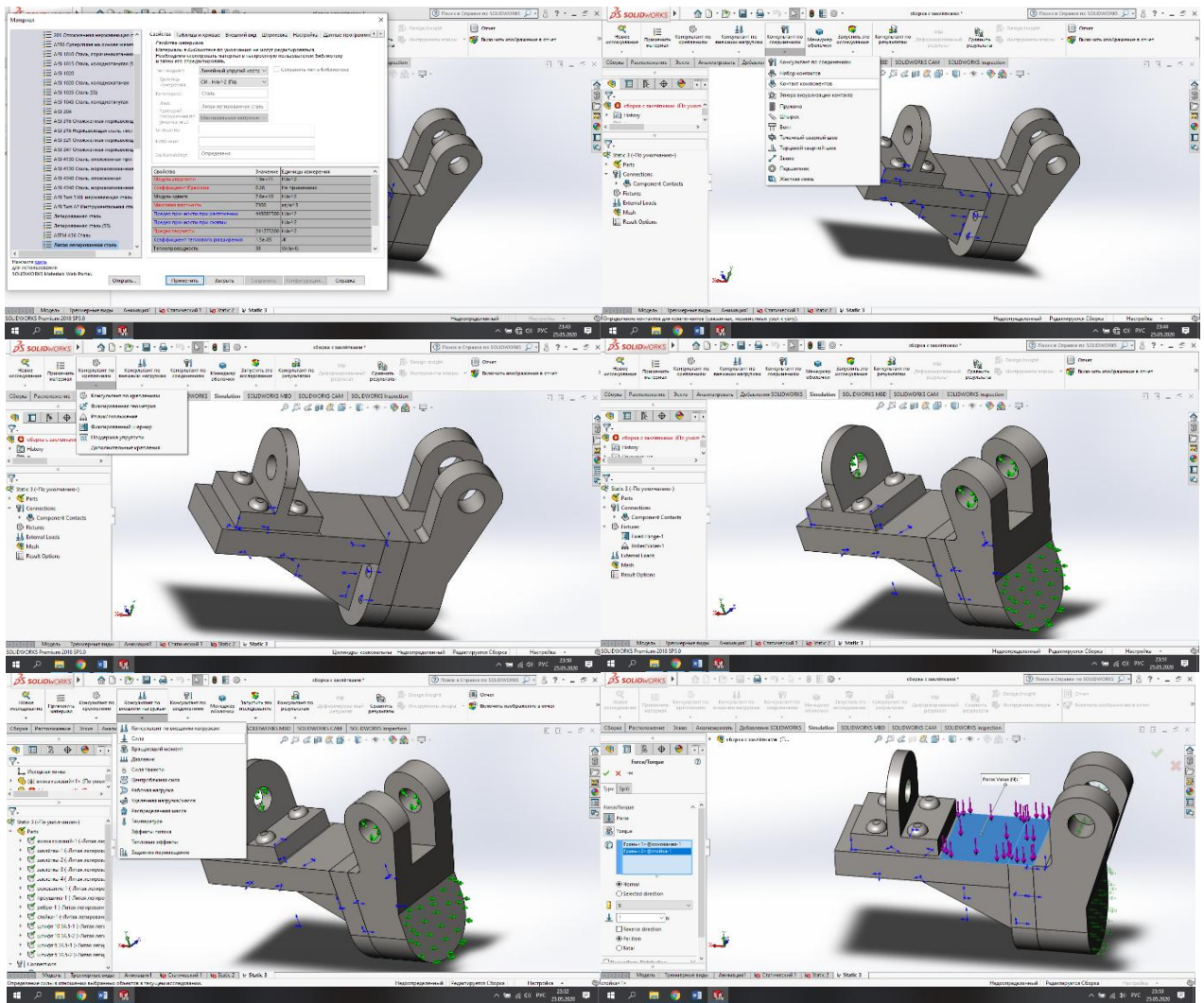
Для расчёта на прочность в SolidWorks Simulation необходимо последовательное выполнение основных шагов:

1. Задаётся материал деталей узла. Для выбранного кронштейна – это литая легированная сталь.
2. Задаётся набор контактов компонентов, которые указываются в разделе «контакт компонентов».
3. Определяются виды и места креплений узла (ограничений). В данном случае «фиксированный шарнир» для цилиндрических отверстий вилки и проушины, и «ролик/скольжение» для задней поверхности вилки, достаточные фиксирующие ограничения, чтобы стабилизировать модель.
4. Прикладывается внешняя нагрузка – сила, равная 20 кН, указываются поверхности, воспринимающие нагрузку. Для рассматриваемого кронштейна – это часть поверхности основания, отделённая линией разъёма, и часть поверхности вилки.
5. Строится сетка для исследования. Создание сетки зависит от активных параметров формирования сетки.
6. Запускается исследование на статику.

Данные шаги представлены на рисунке 2.

После расчёта определяются эпюры напряжений, деформаций, перемещений и запаса прочности, эти результаты отображены на рисунке 3. По этим данным оценивается несущая способность рассматриваемого узла, делаются выводы о пригодности данной трехмерной твердотельной параметрической модели кронштейна к производству.

В результате проведённого расчёта сделаны выводы, что по эпюре напряжений максимальные напряжения в модели не превышают предела текучести материала, работа конструкции не выходит за зону упругости материала. По эпюре перемещений – перемещения под нагрузкой малые, не превышают допустимых значений. Эпюра деформаций показывает, что материал имеет достаточную жёсткость, чтоб выдержать заданную нагрузку. Коэффициент запаса прочности проектирования поможет определить прочность конструкции, он должен быть больше 1.



**Рисунок 2 – Задание граничных условий для проведения статического расчёта**

На эпюре запаса прочности видно, что коэффициент запаса прочности составляет 1,5 и может быть откорректирован в автоматическом режиме, такую возможность предоставляет комплекс SolidWorks Simulation, используя инструмент «исследования проектирования». По цветовой диаграмме запаса прочности можно определить места, где коэффициент запаса прочности слишком большой и имеется возможность провести оптимизацию по массе, выполнив скругления углов детали в этих местах. Это значительно уменьшает затраты на материал в серийном производстве, а также уменьшает нагрузку на деталь за счёт её же массы.

После выполнения статического расчёта и получения необходимого запаса прочности можно перейти к расчёту усталостной прочности, который подразумевает действие циклической нагрузки. Это необходимо для того, чтобы проверить, выдержит ли данная конструкция заданное количество циклов нагружения.

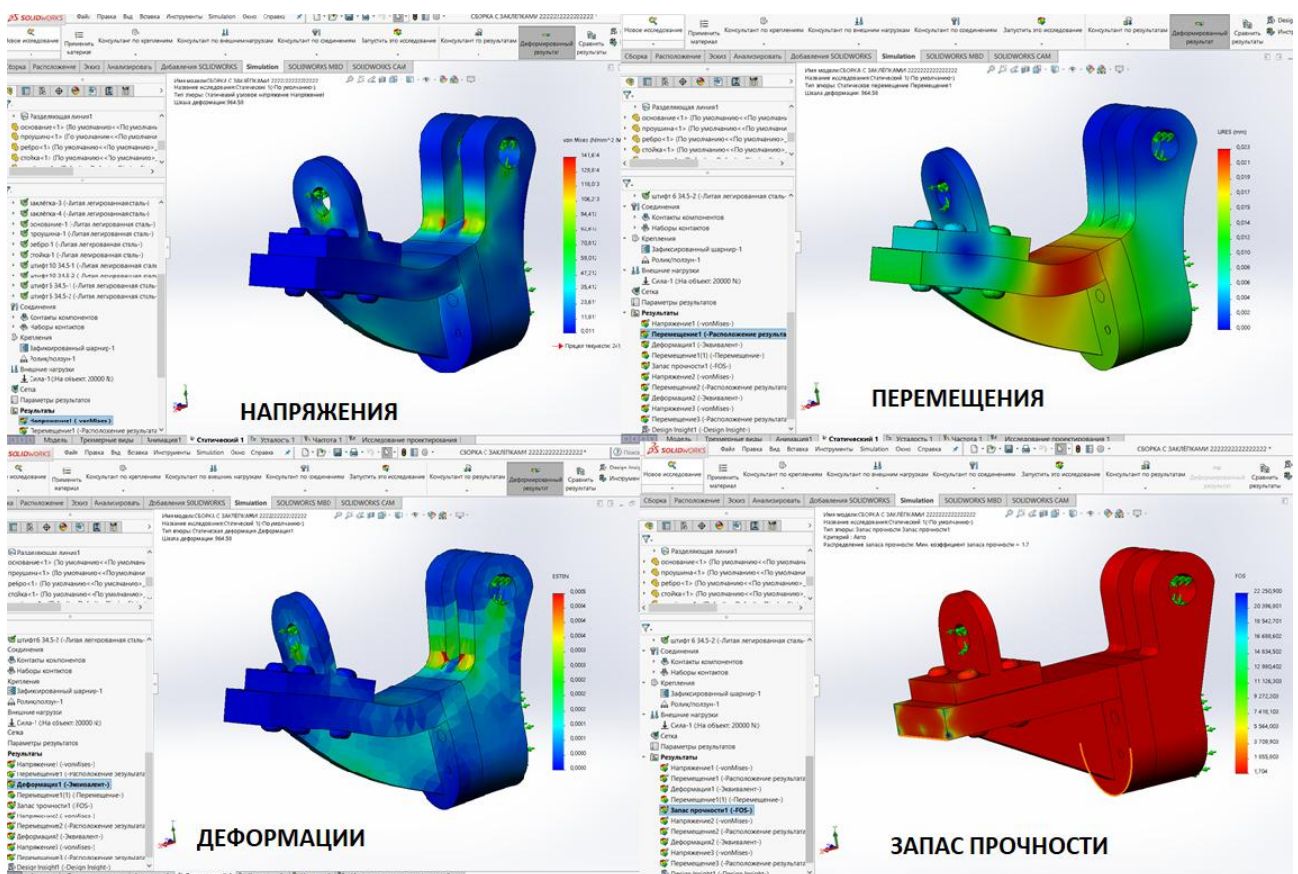
Нагрузки, циклически изменяющиеся во времени по величине или по величине и по знаку (в данном случае нагрузки будут изменяться по синусоидальному закону в пределах от 0 до 1), могут привести к разрушению конструкции при напряжениях, существенно меньших, чем предел текучести (или предел прочности). Такое разрушение принято называть «усталостным». Усталостное разрушение – процесс постепенного накопления повреждений под действием



переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению детали.

По результатам проведённого исследования, показанным на рисунке 3, становится видно, что данная деталь даже в самых опасных местах может выдержать достаточное количество циклов нагружения. Этот результат также можно корректировать путём оптимизации в автоматическом режиме, как и в случае с коэффициентом запаса прочности.

Следующим шагом в разработке сборочного узла является частотный анализ. Каждая конструкция имеет тенденцию вибрировать на определенных частотах, называемых собственными или резонансными частотами. Каждая частота собственных колебаний ассоциируется с определенной формой, называемой формой колебаний, которую модель стремится принимать при вибрировании на этой частоте. Когда конструкция должным образом возбуждена динамической нагрузкой на частоте, которая совпадает с одной из ее собственных частот, конструкция подвергается большим перемещениям и напряжениям. Настоящее явление называется резонансом. Частотные исследования в SolidWorks Simulation могут помочь избежать резонанса. Собственные частоты детали должны быть больше 1 – 30 Hz, большие частоты гарантируют нормальную работу системы. В ходе проектирования необходимо избегать внешних частот, совпадающих с рассчитанными собственными частотами.



**Рисунок 3 – Результаты проведённых исследований**

**Вывод.** В ходе проведения данной исследовательской работы выполнена оценка несущей способности, получена методика проектирования и расчёта узла, оптимизация параметров и характеристик модели. Разработанный алгоритм может быть применён в серийном производстве деталей машин и кон-

струкций. Он позволяет произвести расчёт узлов для заданных типов нагрузений, минуя стадию производства и практического испытания опытных образцов. SolidWorks, – современное решение для автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства, система создает удобную интегрированную среду трехмерного проектирования, охватывая все стадии разработки продукции, использование системы автоматизированного проектирования направлено на повышение технико-экономического уровня проектируемых объектов, сокращения сроков, уменьшения стоимости и трудоемкости их проектирования и изготовления.

#### **Список цитированных источников**

1. Дударева, Н.Ю. SolidWorks 2009 для начинающих / Н.Ю. Дударева. - М.: Книга по Требованию, 2013. - 448 с.
2. Водопьянов, В.И. Курс сопротивления материалов с примерами и задачами / В.И. Водопьянов, А.И. 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.

УДК 624.21.03

**Данилов Д. В.**

**Научный руководитель: ст. преподаватель Дедок В. Н.**

### **ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТОВ МАЛЫХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**Введение.** Целью Государственной программы по развитию и содержанию автомобильных дорог на 2017–2020 годы [1], является улучшение качественных показателей автомобильных дорог общего пользования. Протяженность автомобильных дорог общего пользования Республики Беларусь составляет 87 тысяч км. На долю республиканских автомобильных дорог приходится 18,4 % (16.0 тыс. км) и 81,6 % (71.0 тыс. км) – на долю местных автомобильных дорог.

Парк мостовых сооружений составляет 5171 сооружение общей длиной свыше 165 тысяч погонных метров. Из них 2149 (83.997 погонных метра) – на республиканских автомобильных дорогах и 3022 (81003 погонных метра) – на местных автомобильных дорогах.

Государственной Программой за 2017-2020 на местных дорогах предусмотрено выполнить капитальный ремонт 627,6 пог. метра мостов и путепроводов, текущий соответственно 1589 пог. метров, предусматривается реконструировать и возвести 718,3 пог. метра мостов и путепроводов.

В настоящее время практикуется увеличение сроков службы дорожно-мостовых сооружений без капитального ремонта, что увеличивает старение материалов элементов их конструкций и увеличивает затраты на ремонт. Особую тревогу вызывает состояние мостовых сооружений. На каждые 20,6 км местных дорог приходится один мост и 19 водопроводных труб. Из 3034 мостовых сооружений на местных автомобильных дорогах не соответствуют нормативным требованиям 1954 моста, или более 64 %.

В связи с ростом транспортных нагрузок более 90 % всех мостов и путепроводов не соответствуют требованиям нормативов по выносливости. Любой мост при больших нагрузках, вызывающих дефекты элементов конструкций, требует постоянного осмотра и своевременного ремонта. Основное количество мостовых сооружений в республике строилось в 60-70-е годы прошлого века по нормативным документам, действовавшим в то время. Если рассмат-