

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ «ИССЛЕДОВАНИЕ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ» СРЕДСТВАМИ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

*Золотарёв Ю.В., Махонин Н.С.*

*Национальный исследовательский университет «Московский институт  
электронной техники», г. Зеленоград, Москва*

**Ключевые слова:** кинематическая цепь, плоский рычажный механизм, степень подвижности, трёхмерная модель, лабораторный стенд-планшет, звено механизма, 3D-печать.

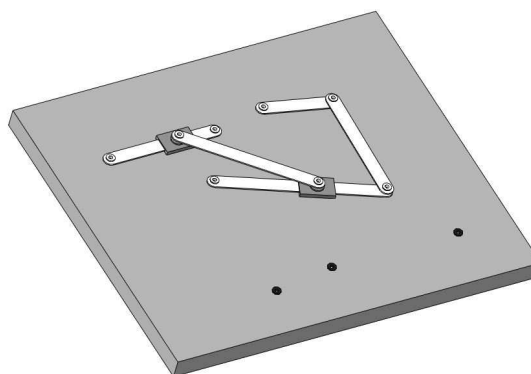
**Аннотация.** В статье описывается подход к усовершенствованию классической лабораторной работы по исследованию плоских рычажных механизмов по курсу «Теория механизмов и машин», «Детали машин» и др. Предложен вариант использования трёхмерного моделирования и 3D печати для разработки и создания новых лабораторных стендов.

Основным подходом к описанию реальных механизмов в ТММ является их представление в виде кинематической модели, которая описывает общую динамику работы механизма, вносит ясность в структуру подвижного узла [1] и позволяет рассчитать его основные кинематические параметры.

Для имитации и исследования работы плоского рычажного механизма в формате лабораторных работ по курсам «Теория механизмов и машин», «Детали машин» ранее применялись лабораторные установки в виде универсальных стендов-планшетов с возможностью сборки на них моделей механизмов в различных вариациях (рис. 1,а).



а)



б)

Рис. 1. Стенд-планшет для построения модели плоского рычажного механизма (а), 3D-модель стенда с механизмом, выполненная в САПР 3D Компас (б)

Они выполнялись в виде массивного алюминиевого основания на котором в отверстия с пружинными фиксаторами вставлялись плоские планки со штифтами на краях, имитирующие звенья кинематических цепей (КЦ) механизма. Соединение представляло собой вращательную кинематическую пару (КП). На планках располагались подвижные ползуны с отверстиями для присоединения других звеньев. К ним присоединялись планки или ползуны со штифтами образуя, соответственно, поступательную или вращательную КП.

Данные стенды-планшеты хорошо себя зарекомендовали, однако были утеряны по независящим от авторов причинам. Появилась задача дополнить учебный процесс необходимыми наглядными материалами. Покупка новых подобных лабораторных пособий проблематична и является дорогостоящей. Изготовление по традиционной технологии достаточно дорого и накладывает ряд ограничений: оптимальная цена допустима при большом объеме заказа, сроки изготовления велики, трудно оперативно дополнять или восполнять модели после их введения в структуру учебного процесса.

С учетом новых требований в профессиональной ориентации получаемых учащимися компетенций и навыков авторы предлагают восполнить образовавшийся пробел, смоделировав лабораторные стенды с механизмами в программах моделирования САПР, а после, при необходимости, изготовить требуемое количество стендов-планшетов средствами 3D-печати. Следует особо отметить, что применение системы автоматизированного проектирования (САПР) при изучении ТММ позволяет получить навыки трехмерного моделирования, востребованные на современных предприятиях.

С помощью трехмерного моделирования можно достаточно качественно визуализировать моделируемую систему (рис. 1,б), проводить лабораторные занятия удалено и создать большую номенклатуру лабораторных стендов для разных типов механизмов. Применение САПР позволяет подготовить детали для послойной 3D-печати - аддитивной технологии позволяющей изготовить детали стенда и механизма любой сложности. Использование указанной технологии выгодно, т.к. коэффициент полезного расхода материала, в сравнении с традиционными методами обработки, практически равен единице. Большим преимуществом данной технологии является обеспечение мобильного изготовления: смоделированная деталь может быть сразу изготовлена без предварительной подготовки и утверждения чертежей и согласования последовательности производственных операций, а 3D-принтер, зачастую имеющийся, в распоряжении небольших институтских лабораторий, может оказаться более дешевым решением для изготовления детали стенда.

В качестве материала печати чаще всего используется ABS или PLA пластики. Даже обычные настройки печати позволяют получить приемлемое качество поверхности, достаточное для создания лабораторных моделей механизмов. Прочность получаемых деталей достаточна для использования механизма в качестве учебной модели, так как воспринимаемая макетом нагрузка незначительна. Применение аддитивной технологии позволяет быстро заменить какой-либо компонент механизма в случае его поломки или потери.

На рисунке 2,а изображена 3D-модель ползуна с соединительным отверстием под штифт, подготовленная для печати на 3D-принтере. Модель была сконструирована как составная часть кинематической модели механизма стенда (рис. 1,б, рис. 2,б). Благодаря функциям утилит моделирования есть возможность двигать элементы модели в сборке, рассматривая взаимное движение звеньев и находя общие зависимости взаимного движения элементов механизма, как на реальной лабораторной модели. Есть возможность создать наиболее наглядные виды, вращая конструкцию, приближая и отдаляя 3D-модель, удобно делать детали прозрачными и, при необходимости, создавать сечения в необходимых местах.

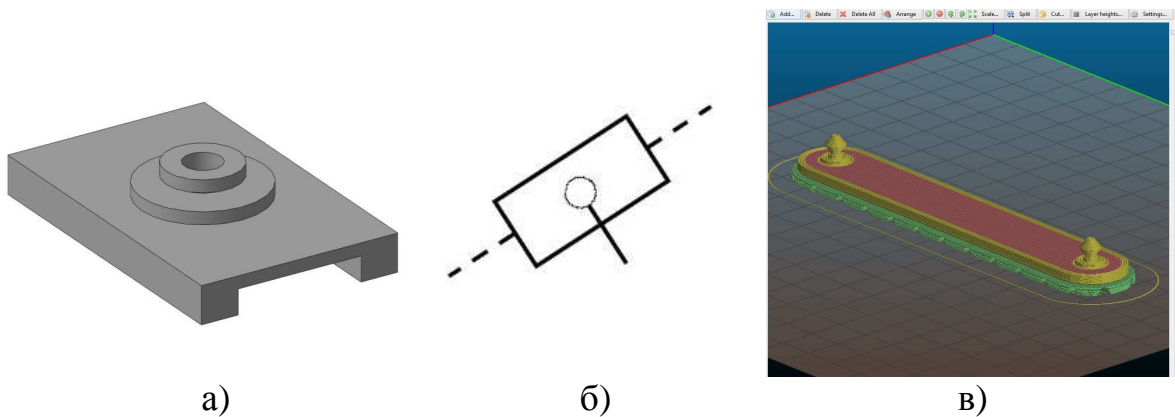
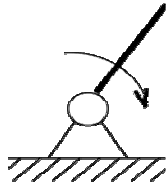


Рис. 2. Компонент КП (ползун) (а) – его схематическое обозначение (б), послойная трассировка звена в окне программы подготовки 3D-печати (в)

Наложение связей в кинематической паре является основным подходом к описанию структурных свойств механизмов. Это позволяет наглядно представить ограничение степеней свободы взаимного движения звеньев при объединении их кинематическую пару по средствам сопряжения деталей в трёхмерной сборке. Другими словами, такое абстрактное понятие, как степень подвижности, становится более доступным для понимания благодаря 3D-визуализации.

В таблице 1 представлена трехмерная визуализация некоторых кинематических пар, участвующих в создании моделей механизмов [2]. Трёхмерная модель сборки механизма также позволяет создать анимацию его работы, что весьма полезно при разработке нового учебного материала и может быть использовано при создании обучающих видеоуроков.

Табл. 1. Трёхмерная визуализация, условные обозначения и названия некоторых КП.

Трёхмерная модель КП	Схематическое изображение	Название
		Кривошип
		Шатун
		Ползун

На рис. 2,в представлено окно программы послойной трассировки печатающего устройства с загруженной трехмерной моделью плоской направляющей ползуна. На краях видны соединительные штифты, с помощью которых звено соединяется с остальными элементами механизма планшета, или стойкой. Визуализация с послойным разделением траектории движения экструдера печатающего устройства позволяет настроить оптимальный режим работы для достижения приемлемого качества создаваемой детали. Выбор конкретного принтера, описание режимов настройки печати и оставим за рамками данной статьи, т.к. подобные рекомендации достаточно широко освещены в доступных публикациях и на просторах сети интернет.

#### Список литературы

1. Сильченко П.Н., Мерко М.А., Меснянкин М.В. Теория машин и механизмов. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 199 с.
2. Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин: учебное пособие для бакалавров / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 351 с

#### Сведения об авторах:

*Золотарев Юрий Васильевич* – преподаватель, МИЭТ, г.Москва;

*Махонин Н.С.* – студент МИЭТ, г.Москва.

#### IMPROVEMENT OF LABORATORY WORK “RESEARCH OF LEVER MECHANISM” BY MEANS OF 3D-MODELING AND 3D- PROTOTYPING

*Zolotarev Yu.V., Mahonin N.S.*

**Keywords:** foreign material, wear particles, contaminant-free room (clean room, machinery, kinematic pairs, harmonic drive.

**Abstract.** The article describes a way to improvement of a classic laboratory work in a research of flat lever mechanisms in the course “Theory of mechanisms and machines”, “Details of machines” and other. It has been offered a variant of a using of 3D-modeling and 3D-printing for a development and creation of new laboratory equipment’s.