

Развитие и совершенствование учебной лаборатории по дисциплине «Теория механизмов и механика машин»

09, сентябрь 2014

Тимофеев Г. А., Тарабарин В. Б., Кузенков В. В., Фурсяк Ф. И., Тарабарина З. И.

УДК: 531.8

Россия, МГТУ им. Баумана

konsvbt@mail.ru

В связи с переходом на многоуровневую инновационную систему высшего специального образования и пересмотром образовательных стандартов необходимо развитие и совершенствование всех видов учебных занятий. Задача повышения компетентности выпускников технических университетов требует повышения уровня их теоретической подготовки, выработки навыков решения практических задач и умения организовывать и проводить экспериментальные исследования. При подготовке инженеров эмпирическая сторона познавательного процесса реализуется в форме лабораторных практикумов. В число актуальных задач, которые решаются в настоящее время по общетехническим дисциплинам, входит развитие и совершенствование лабораторного практикума по дисциплине «Теория механизмов и механика машин» (ТММ).

Первая комплексная система лабораторных работ в стране была разработана на кафедре и внедрена в учебный процесс еще в 50-х годах прошлого века. Лабораторные установки были изготовлены в мастерских кафедры учебными мастерами при участии и под руководством преподавателей. Активное участие в этой работе принимали все сотрудники кафедры, особенно, молодежь Савелова А.А., Скворцова Н.А., Ремизова Н.Е., Матрьюкова А.С. Созданные на кафедре лабораторные установки и методическое обеспечение в дальнейшем послужило базой для создания Союзвузприбором первой типовой лаборатории по ТММ. Некоторые из этих установок модернизированы и используются в настоящее время.

В последнее десятилетие коллектив работает над созданием современного инновационного учебно-научного оборудования для формирования исследовательских компетенций у студентов [1,2]. Широкое внедрение вычислительной техники позволяет выполнять работы на современном уровне, реализуя современные методики планирования и проведения экспериментов. Это обеспечивает углубленное исследование физических явлений, сокращает время на обработку и интерпретацию результатов экспериментов [3 - 6].

Экспериментальное подтверждение теоретических расчетов и исследований является важной заключительной стадией процесса проектирования механизмов машин. При

прохождении лабораторного практикума по курсу ТММ студенты на моделях механизмов и машин изучают и исследуют структуру плоских и пространственных схем механизмов с открытыми и закрытыми кинематическими цепями. Они изучают экспериментальные методы анализа и синтеза кинематических и динамических параметров механизмов, методы формообразования зубчатых зацеплений, а также исследуют колебания в машинах и рассматривают методы борьбы с ними.

На кафедре разработано более 20 лабораторных работ, для них подготовлены методические материалы и программное обеспечение. Это позволяет для студентов различных специальностей подбирать свой комплекс работ, который лучше соответствует их будущей специальности. Методика проведения лабораторных работ включает знакомство студентов с теорией изучаемого явления и методами измерения механических величин, а также с элементами планирования экспериментальных исследований и статистической обработкой их результатов. Именно в учебной лаборатории студенты второго и третьего курсов МГТУ, изучающие дисциплины ТММ, «Основы проектирования машин» и «Прикладная механика», осваивают основы теории и практики эксперимента, изучают эмпирическую область научных исследований и, согласно образовательным стандартам, овладевают в этой области необходимой компетенцией.

Работа по созданию, апробации и внедрению нового лабораторного комплекса была начата в 1997 г. под руководством академика РАН Фролова К.В., а с 2007 г. продолжается под руководством док. тех. наук, проф. Тимофеева Г.А. Она выполняется в соответствии с программой, утвержденной Госкомитетом РФ по высшему образованию (постановление ГУМУ-Т 9/1 от 27 июня 1989 года), совместно с РНПО «Росучприбор» [1].

В состав типового комплекта оборудования учебной лаборатории по ТММ входят комплект из 11 моделей механизмов различных машин, модели четырехзвенных механизмов с изменяемыми длинами звеньев, прибор для моделирования нарезания зубчатых колес и пять экспериментальных установок. Эти установки предназначены для исследования: коэффициента полезного действия (КПД) рычажного механизма, вибраций и виброзащиты, динамики поршневого компрессора, кинематического и силового анализа кулачкового механизма, динамической балансировки роторов, геометрии и кинематики промышленных роботов.

Модели механизмов 11 машин (рис.1), выполненные из металла и прозрачного цветного пластика, предназначены как для использования в лабораторном практикуме в работе по структуре механизмов, так и для демонстрации на практических и лекционных занятиях. Этот комплект содержит модели: станка для разделения отливок; долбежного станка; горизонтально-ковочной машины; кривошипно-коленного пресса; поперечно-строгального станка; качающегося конвейера; компрессорной установки с двигателем внутреннего сгорания; силовой судовой установки с двигателем Стирлинга; передней стойки шасси самолета; сбалансированного манипулятора; установки для подачи заготовок в рабочую зону машины.



Рис. 1. Комплект моделей механизмов машин и лабораторная работа по структуре механизмов

В настоящее время эти модели машинных агрегатов успешно используются в учебном процессе как в МГТУ, так и в других ВУЗах.

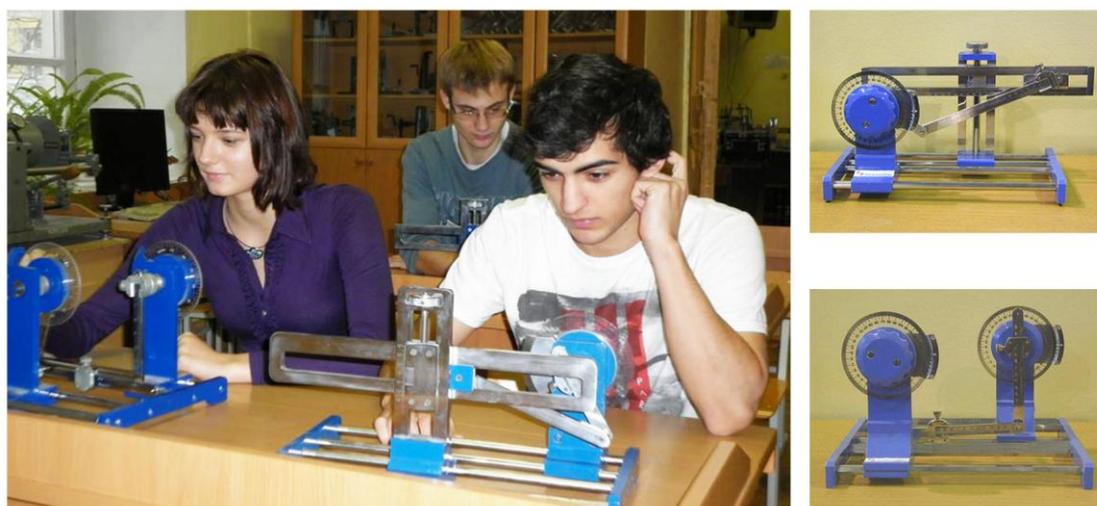


Рис. 2. Модели четырехзвенных механизмов и лабораторная работа по метрическому синтезу

Остановимся подробнее на некоторых установках из комплекса типовой лаборатории по ТММ.

Комплект моделей четырехзвенных рычажных механизмов (рис.2) представляет собой кривошипно–ползунный и четырехшарнирный механизмы с возможностью измене-

ния длин звеньев и измерения положений входного и выходного звеньев. Это позволяет проводить метрический синтез механизма при различных исходных данных как аналитически на ЭВМ, так и графически, проверять полученные результаты на моделях и оценивать точность решения поставленной задачи. При этом начальная координата входного звена назначается в выбранном диапазоне случайным образом. Модели механизмов позволяют достаточно точно, с помощью шкал с нониусами, задавать положения входного звена и измерять соответствующие им положения выходных звеньев. Разработанное программное обеспечение позволяет управлять процессом синтеза механизма, оценивать погрешность воспроизведения заданной передаточной функции и, за счет выбора оптимального положения входного звена, более точно решать задачу синтеза.



Рис. 3. Установка для динамической балансировки роторов и лабораторная работа, выполняемая на ней

Установка, показанная на рис.3, предназначена для проведения эксперимента по динамической балансировке ротора. Она выполнена по схеме балансировочного станка, предложенной Шитиковым Б.В., и снабжена фрикционным тормозом, электромагнитным демпфером колебаний рамы и электронным датчиком для цифрового измерения амплитуды колебаний ротора. Величина собственного дисбаланса ротора может изменяться в заданном диапазоне.

Прибор, изображенный на рис.4 а, предназначен для моделирования процесса нарезания зубчатых колес методом огибания. В комплект прибора входит набор инструментальных реек с различными производящими контурами, включая контур с зацеплением Новикова М.Л. За счет сменных дисков на нем можно моделировать процесс нарезания зубчатых колес с различными числами зубьев. Для расчета геометрических параметров зубчатого колеса и виртуального моделирования процесса огибания разработано программное обеспечение (рис. 4 б), позволяющее расширить область изменения параметров исходного производящего контура (ИПК) и колеса. По программе можно моделировать формирование зубьев при нестандартных параметрах ИПК, для прямозубых или косозубых колес, при различных коэффициентах смещения. Выводимый на экран профиль зуба колеса позволяет визуально оценить влияние тех или иных параметров на геометрию зуб-

чатого колеса. По результатам моделирования строится область существования зубчатого колеса, в границах которой отсутствует подрезание и заострение зубьев.

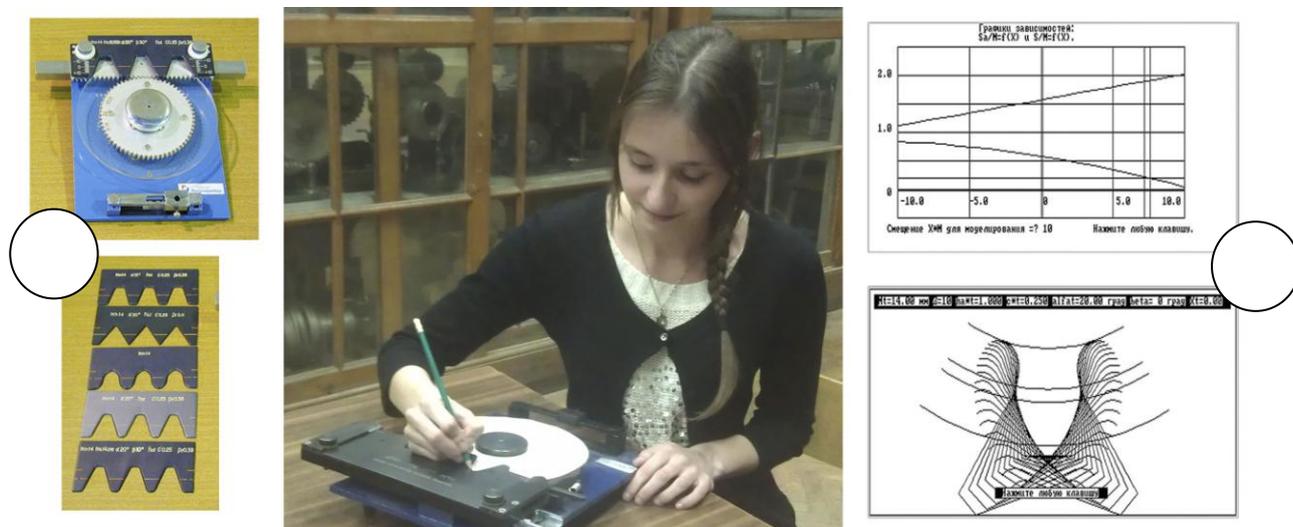


Рис. 4. Прибор для моделирования процесса нарезания зубчатых колес методом огибания



Рис. 5. Экспериментальная установка для исследования эффективности виброзащитных устройств ТММ 98-8

Установка ТММ 98-8 предназначена для изучения и экспериментального исследования эффективности виброзащитных устройств (рис.5). На ней можно исследовать амplitудно-частотные характеристики механических систем с различными характеристиками упругого элемента, проводить лабораторные работы по оценке эффективности виброизоляции и динамического гашения.

Эта установка состоит из электродвигателя с регулируемой частотой вращения, четырехшарнирного рычажного механизма с изменяемой длиной кривошипа, сменных пла-

стинчатых пружин и двух дисков, соответствующих основной массе и массе динамического гасителя. Установка оснащена импульсными датчиками для измерения частоты и амплитуды колебаний, двумя демпферами – демпфера с сухим трением и электромагнитным. Создано специализированное программное обеспечение к лабораторной работе, позволяющее обрабатывать сигналы с датчиков для получения амплитудно-частотных характеристик системы.

На рис. 6 представлены опытные образцы лабораторных установок для исследования КПД кулисного механизма ТММ 98-3 (а), для исследования динамических процессов в машинном агрегате (поршневой компрессор) ТММ 98-5 (б) и для силового и кинематического анализа кулачковых механизмов ТММ 98-7 (в). Эти установки в настоящее время дорабатываются в Гагаринском филиале РНПО Росучприбор при участии сотрудников кафедры.

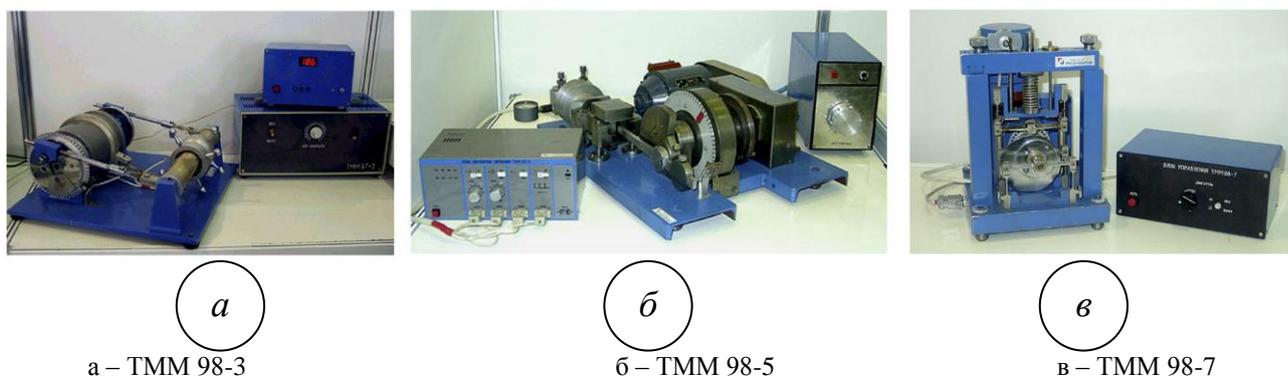


Рис. 6. Опытные образцы экспериментальных установок



Рис. 7. Робототехнический комплекс на базе модульного манипулятора УМР-3-0

В комплект оборудования типовой лаборатории по ТММ входит учебный робототехнический комплекс на базе модульного манипулятора УМР-3-0. Он позволяет исследовать процесс автоматизации управления механизмами робота с тремя степенями подвижности [8]. Управление процессом движения осуществляется от ЭВМ с помощью, созданного на кафедре модуля контроля. Работа включает изучение процесса синхронизации робота по показаниям датчиков реальных перемещений звеньев с виртуальной рабочей средой и 3D моделью в памяти персонального компьютера (рис.7).

Лабораторный практикум по курсу ТММ позволяет решить следующие задачи:

- изучение инновационных методов моделирования и экспериментального исследования кинематических и динамических характеристик механизмов и машин;
- изучение основ теории инженерного эксперимента и методов статистической обработки;
- освоение современной аппаратуры для измерения и регистрации кинематических и динамических характеристик, исследуемых механизмов и машин;
- знакомство со стандартными условными обозначениями и правилами оформления документации при проведении экспериментальных исследований;
- изучение методов оценки точности результатов эксперимента, алгоритмов их обработки и интерпретации, требований к формулировке выводов.

Для решения этих задач необходимо изучить основы теории исследуемых процессов, методы организации и планирования эксперимента, методику его выполнения, правила работы с усилительной и регистрирующей аппаратурой, а также правила техники безопасности при работе в лаборатории.

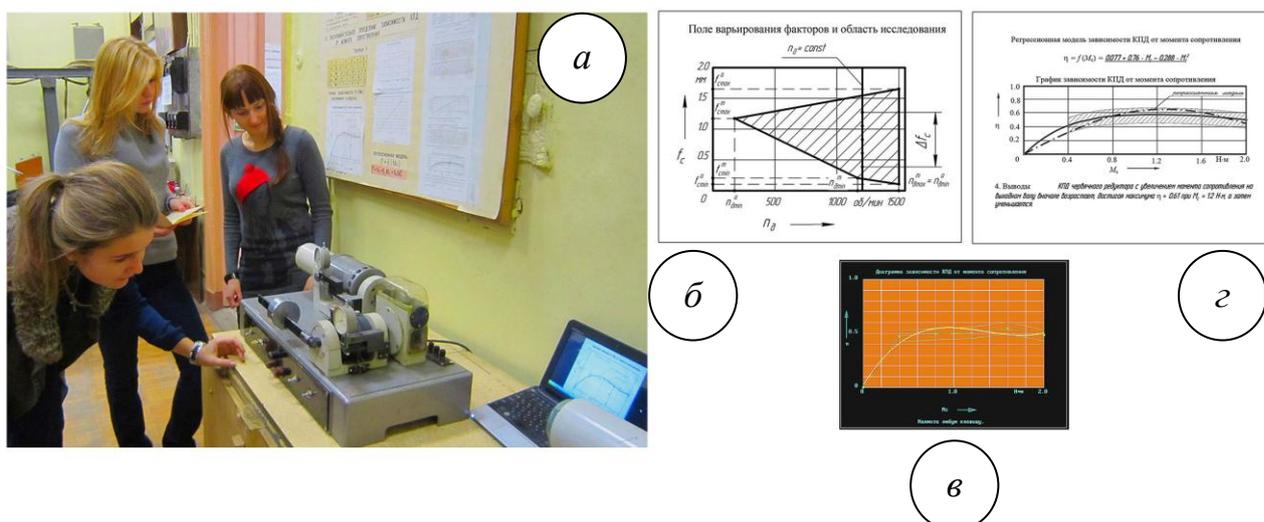


Рис. 8. Лабораторная работа по исследованию КПД зубчатого редуктора

Рассмотрим методику проведения однофакторного эксперимента на примере лабораторной работы по исследованию КПД зубчатого редуктора (рис. 8 а).

В начале исследования студенты знакомятся с понятием КПД механической системы и формулами для его вычисления. Следующим этапом является установление наиболее существенных факторов, влияющих на его величину, и определяются их предельные значения, реализуемые на данной установке. В данной работе факторами являются момент сопротивления M_c на валу редуктора и частота вращения его входного вала n_d . При этом строится поле варьирования факторов (рис.8, б). Внутри этого поля выбирают область исследования – пределы изменения факторов. В данной работе проводится однофакторный эксперимент, при котором изменяют многократно в случайном порядке только один из факторов M_c , поддерживая все остальные на заданном постоянном уровне. В этом случае область исследования Δf_c представляет собой отрезок прямой $n_d = \text{const}$. Далее проводится выбор математической модели в виде полинома третьего порядка и планирование эксперимента, заключающееся в задании последовательности варьирования фактора. При этом вначале проводится тарировка измерителей моментов на валах двигателя и тормоза, а затем эксперимент по определению КПД. Обработка результатов эксперимента проводится с помощью ЭВМ статистическими методами, используя критерии Кохрена, Фишера и Стьюдента для построения доверительного интервала. Результаты расчетов выводятся на экран компьютера в виде графика (рис.8, в) и заносятся в лабораторный журнал [7] (рис.8, з).

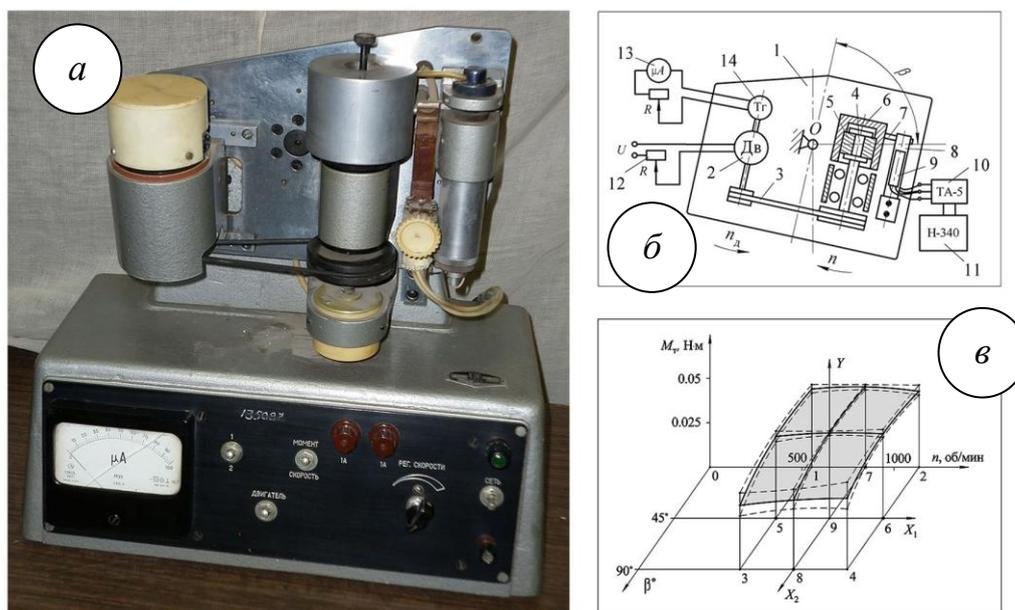


Рис. 9. Лабораторная работа по исследованию момента сил трения во вращательной кинематической паре

В лабораторной работе посвященной исследованию момента сил трения во вращательной кинематической паре (рис.9 а) используется двухфакторный эксперимент, в котором одним из факторов является угол β наклона оси кинематической пары к горизонту

(рис. 9 б), а вторым – частота вращения вала n . Одновременное изменение этих параметров имеет место в кинематических цепях манипуляторов, в которых и направление осей шарниров, и относительная скорость движения звеньев меняются в процессе работы. На заключительном этапе исследования с помощью компьютера воспроизводится в формате 3D поверхность отклика (средний момент трения в паре) с нанесенными на ней границами доверительных интервалов (рис. 9 в).

Кроме лабораторных работ, которые выполняются на реальных экспериментальных установках, был создан виртуальный лабораторный практикум по ТММ, который выполняется студентами на компьютерах и имитирует все этапы реальной работы. Он предназначен для дистанционного обучения студентов и подробно описан в статьях [9,10]. В виртуальный практикум включены следующие лабораторные работы:

- структурный и кинематический анализ рычажных механизмов;
- структурный и кинематический анализ манипуляторов;
- индикаторная диаграмма и механические характеристики поршневого компрессора;
- динамическая балансировка ротора;
- исследование фрикционных автоколебаний в поступательной кинематической паре;
- исследование коэффициента полезного действия редуктора;
- метрический синтез четырехзвенных механизмов;
- исследование влияния параметров станочного зацепления на геометрию эвольвентного зубчатого колеса.

Заключение.

На кафедре ТММ МГТУ им Н.Э. Баумана создан уникальный лабораторный комплекс, который включает демонстрационные модели, экспериментальные лабораторные установки, методические материалы (методические указания, плакаты, слайды, видео ролики, лабораторные журналы), компьютерные программы для обработки данных и моделирования. Он позволяет студентам наряду с изучением базового курса, проводить и научные исследования, формируя тем самым конкурентные научные и личностные компетенции, что отражает инновационный характер обучения на кафедре. В комплексе заложены резервы развития и совершенствования учебно-методического и исследовательского характера.

Список литературы

1. Типовая учебная лаборатория по курсу «Теория механизмов и машин». Сб. трудов РНПО «Росучприбор». М.; 2003. 165 с.
2. Лабораторный практикум по курсу ТММ: Учебное пособие / [Костиков Ю.В. Леонов И.В. Суетин В.А. и др.]; Под ред. Тарабарина В.Б. – М.: Изд. МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1987, 80 с.: ил.

3. Теория механизмов и механика машин / Под ред. К.В. Фролова. М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 664 с.
4. Тарабарин В. Б., Кузенков В.В., Фурсяк Ф.И. Лабораторный практикум по теории механизмов и машин. М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 81 с.
5. Тарабарин В.Б., Фурсяк Ф.И. Опыт модернизации лабораторного практикума по ТММ. Тезисы докладов семинара-совещания "Задачи кафедр ТММ в свете перестройки высшего образования в стране", КПИ, Калинин, 1988
6. Тарабарин В.Б., Фурсяк Ф.И. Планирование эксперимента и методы регрессионного анализа в лабораторном практикуме по ТММ. Тезисы докладов семинара-совещания "Задачи кафедр ТММ в свете перестройки высшего образования в стране", КПИ, Калинин, 1989
7. Тарабарин В.Б., Фурсяк Ф.И., Кузенков В.В. Журнал лабораторных работ по дисциплине «Теория механизмов и машин». М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 21с
8. Вуколов А.Ю., Карпов А.А. Система управления ортогональным модульным роботом УМР-3-0 и ее применение в учебном процессе; Изд-во «Студенческая весна 2010: Машиностроительные технологии»
9. Тарабарин В.Б., Тарабарина З.И. Виртуальный лабораторный практикум по ТММ. Теория машин и механизмов, №2. Том20, 2012. – С. 14-23.
10. Tarabarin V.B., Tarabarina Z.I., Feygina A.G. Virtual laboratory works on Theory Mechanism and Machine/ New Trends in Educational Activity in the Field of Mechanism and Machines. Edited by J.C. Garcia-Prada, Cristina Castejon. Mechanisms and Machines Science, vol. 19, Sringer, 2013. – Pp. 171-180.