

УДК 004.4; 621.01

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ КОМПЬЮТЕРНО–МЕХАНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ БУДУЩЕГО

Кузлякина Валентина Васильевна,
доктор технических наук, профессор,
KuzlyakinaVV@mail.ru

Россия, 690054, Владивосток, ул. Рыбацкая, 17.

В статье рассматривается проблема обеспечения инженерного образования современным лабораторным оборудованием. В двадцать первом веке провозглашена всесторонняя цифровизация. Достигнуты значительные успехи во многих образовательных направлениях, кроме инженерного. Особо сложные проблемы в создании лабораторных комплексов.

Ключевые слова: компьютерные технологии, лабораторные комплексы, датчики, удалённый доступ.

Введение

Современному инженерному образованию, казалось бы, уделяется большое внимание, но, к сожалению, на словах. Особое внимание должно быть уделено лабораторному оборудованию по инженерным общепрофессиональным дисциплинам. Большая часть его была изготовлена в середине двадцатого века. Оно устарело и морально и физически. Новое оборудование, предлагаемое на рынке, очень дорого и к тому же далеко не все соответствует современному уровню.

В последние 15–20 лет в области изготовления лабораторного оборудования появились Российские фирмы. Наиболее известными и продвинутыми стали: ЗАО «Дидактические Системы» (создана в 1996 г. <https://disys.ru/>), ООО НПП «Учтех-Профи» (создана в 2007 г., <http://labstand.ru>), ООО ПО «Зарница» (создана 2003 г. <https://zarnitza.ru>), ООО Учебная техника (создана в 2012 г., <https://lab-tehnika.tiu.ru>) и другие. Достаточно полно представлено лабораторное оборудование по обще профессиональным инженерным дисциплинам фирмами ООО НПП «Учтех-Профи» и ООО ПО «Зарница».

При изучении инженерных дисциплин: выполняются экспериментальные (лабораторные) работы с большим объёмом расчётных операций. Сформировалась потребность в создании лабораторных компьютерно-механических комплексов по инженерным дисциплинам (ЛКМК ИД).

ЛКМК ИД – это совокупность экспериментальных установок, компьютерной техники, программных средств разного уровня, информационной среды соответствующей дис-

циплины, объединённая единой управляющей системой для организации обучения. Впервые об этом было доложено нами на конференции в г. Орёл в 2007 г. [1]. В докладе был представлен опыт выполнения лабораторных работ по фундаментальному курсу Теория механизмов и машин (ТММ) с компьютерной поддержкой.

Лабораторный практикум с компьютерной поддержкой

Информационная среда по фундаментальному курсу «Теория механизмов и машин» для механических специальностей содержит 7 модулей, из них 4 модуля посвящены изучению рычажных механизмов и 3 модуля механизмам с высшими парами. В каждом модуле выполняются лабораторные работы. Первая лабораторная работа в компьютерном варианте «Уравновешивание масс, расположенных в параллельных плоскостях» введена в учебный процесс в 1995 г. В 2002 г. в МГУ им. адм. Г.И. Невельского впервые реализован комплексный лабораторный практикум с компьютерной поддержкой. Он содержит два раздела: «Исследование рычажных механизмов» – 10 лабораторных работ и «Исследование механизмов с высшими парами» – 6 работ. Лабораторный практикум с компьютерной поддержкой выполняется на лабораторных стендах и на персональных компьютерах (ПК) в программных средах VSE, DINAMIC, GCG&FQ, KulWin, APM Win Machine [2].

Процедура выполнения лабораторных работ содержит шесть этапов:

- теоретическая подготовка, методические указания ко всем лабораторным работам

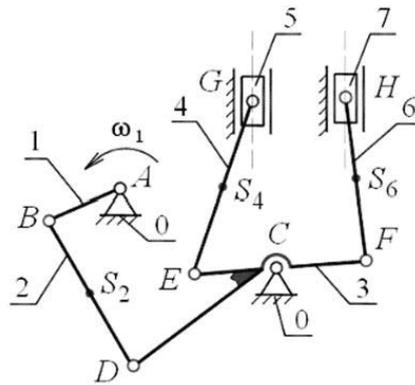


Рис. 1. Модель и кинематическая схема механизма Моргана
Fig. 1. Model and kinematic diagram of the Morgan mechanism

в текстовом формате имеются в библиотеке, в методическом кабинете, а также в гипертекстовых форматах встроены в автоматизированную систему организации обучения (АСОО) КОБРА и выставлены в компьютерной сети университета;

- выполнение необходимых предварительных расчётов и проверка их результатов на персональном компьютере;
- выполнение эксперимента на лабораторных стендах;
- моделирование на ПК;
- оформление отчёта;
- тестирование по теме лабораторной работы на ПК в системе «КОБРА».

Теоретический курс «Исследование рычажных механизмов» содержит четыре модуля, в каждом из которых выполняется 1–3 лабораторные работы. При изучении первого модуля выполняются две лабораторных работы: «Структурный анализ рычажных механизмов» на лабораторных стендах и «Структурирование (моделирование) схем механизмов на основе обобщённых модулей в системе VSE» на ПК.

Для структурного анализа предлагается многосвязный механизм (модель или планшет), например, модель рычажного механизма Моргана (рис. 1).

Для заданного механизма в условных изображениях вычерчивается кинематическая схема механизма (рис. 1), нумеруются звенья, начиная с входных и заканчивая стойкой (её номер 0), определяется степень подвижности механизма, указывается класс механизма, записывается формула строения механизма. По классификации Асура-Артоболевского это механизм второго класса, состоящий из условного механизма I-го класса I-го типа, группы Асура II-го класса I-го вида и двух присое-

диненных к ней групп Асура II-го класса II-го вида. Измеряются длины звеньев, выбирается система координат (начало системы целесообразно совместить с т. А), определяются координаты неподвижных точек и положение неподвижных направляющих. Эти данные необходимы для выполнения второй лабораторной работы, которая выполняется в системе VSE, на основе обобщённых структурных модулей [3].

На стадии структурирования механизмов можно параметрически описать конструктивную форму звеньев путем введения параметров, определяющих положение характерных (дополнительных) точек и центра масс звена. Конструктивная форма звена определяется длиной звена l_i , положением его центра масс c_i и μ_i , а также массой m_i и моментом инерции I_i [2].

Процедура моделирования схемы механизма в системе VSE начинается с ввода параметров звеньев обобщённых структурных модулей в соответствии со структурной схемой строения механизма и информацией, представленной на экране.

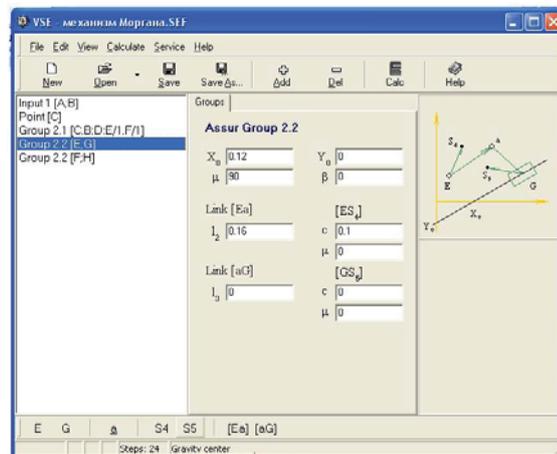


Рис. 2. Экран ввода параметров группы II₂ (4, 5)
Fig. 2. Screen for entering parameters of group II₂ (4, 5)

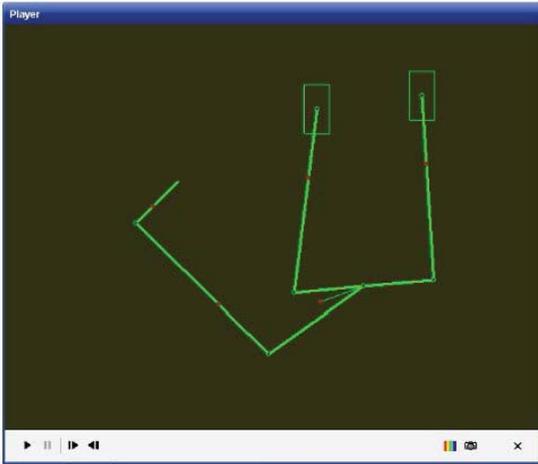


Рис. 3. Экран визуализации схемы группы механизма Моргана I

Fig. 3. Screen of visualization of the scheme of the group of the Morgan I mechanism

На рис. 2 показан экран ввода параметров для группы $I_2(4,5)$. После ввода всех параметров на экране появляется динамическое представление схемы механизма за период вращения кривошипа от 0 до 360 (рис. 3). Динамическое представление схемы реализуется даже в случае ошибок при вводе параметров, что позволяет оперативно корректировать введенные значения параметров. Последующие лабораторные работы можно продолжать выполнять на ПК для этого же механизма и параллельно для механизма, заданного для учебного проектирования.

В третьем модуле «Исследование динамики рычажных механизмов» выполняются шесть лабораторных работ, одна из которых «Определение приведённого момента инерции рычажных механизмов». Решение такой задачи необходимо для изучения указанных механизмов с позиций динамики и знакомства с экспериментальным методом определения. Данная работа выполняется на лабораторном стенде экспериментально для наиболее распространенных видов механизмов: кривошипно-ползунного, кривошипно-коромыслового (рис. 4) и кривошипно-кулисного. Студенты определяют приведенный момент инерции, строят график зависимости его от угла поворота кривошипа (рис. 5). После этого выполняется в системе DINAMIC моделирование технологического воздействия и определяются параметры для простейшей динамической модели в виде звена с распределенной массой, вращающейся вокруг неподвижной точки.



Рис. 4. Модель установки кривошипно-коромыслового механизма

Fig. 4. Crank mechanism installation model

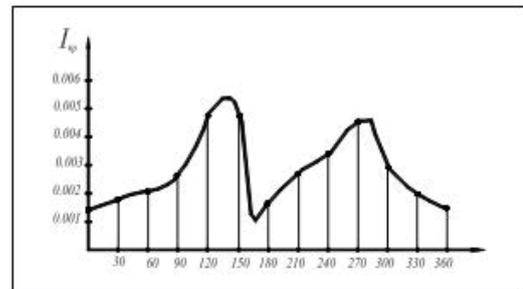


Рис. 5. График приведенного момента инерции (результат эксперимента)

Fig. 5. The graph of the reduced moment of inertia (the result of the experiment)

В системе DINAMIC решается уравнение движения, определяется истинный закон движения входного звена, коэффициент неравномерности движения δ , который сравнивается с рекомендуемым и при необходимости конструируется маховик. Затем студенты получают сравнительные графики скоростей и ускорений для всех точек (рис. 6) или угловых скоростей и ускорений звеньев (рис. 7) при постоянной и переменной скорости кривошипа.

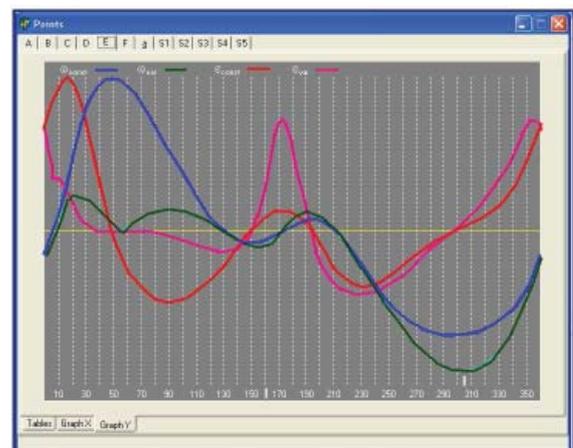


Рис. 6. Графики скорости и ускорения, т. е. при постоянной и переменной угловой скорости входного вала

Fig. 6. Graphs of speed and acceleration, i.e. at constant and variable angular velocity of the input shaft

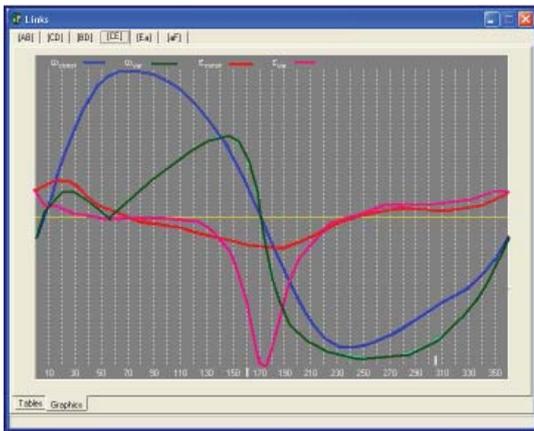


Рис. 7. Графики угловой скорости и ускорения звена CE при постоянной и переменной угловой скорости входного вала

Fig. 7. Graphs of angular velocity and acceleration of the CE link at constant and variable angular velocity of the input shaft

Определяются также координаты центра тяжести всего механизма, траектория его перемещения, неуравновешенные силы и моменты инерции, выполняется силовой расчет механизма при постоянной скорости входного вала и при переменной (рис. 8–9).



Рис. 10. Моделирование процесса нарезания зубчатых колес

Fig. 10. Simulation of the process of cutting gear wheels

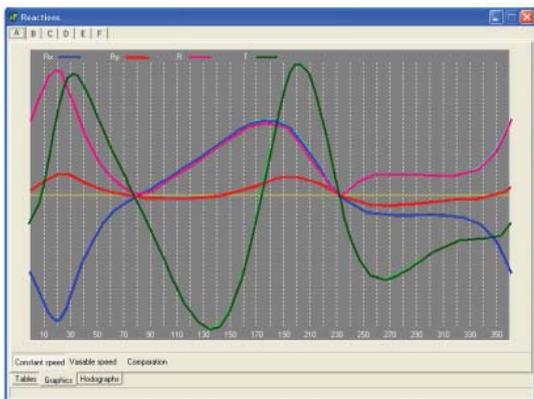


Рис. 8. Графики реакций в соединении между кривошипом и стойкой при $\omega = \text{const}$ и при $\omega = \text{var}$

Fig. 8. Graphs of reactions in the connection between the crank and the strut at $\omega = \text{const}$ and at $\omega = \text{var}$

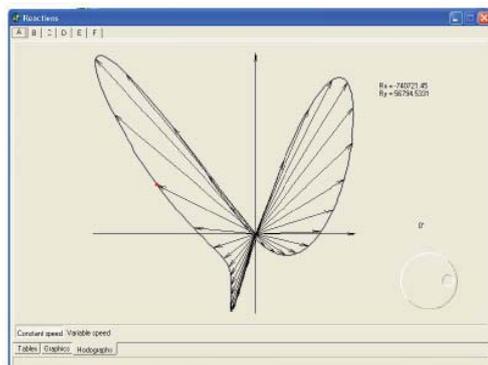
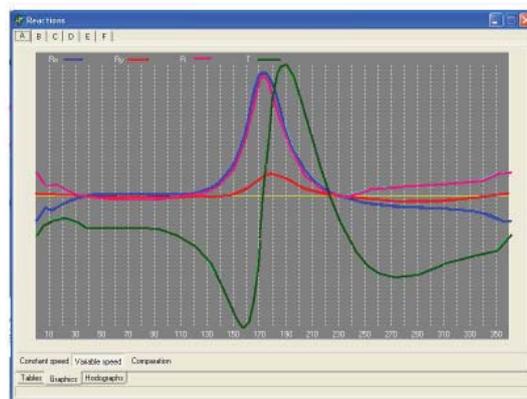
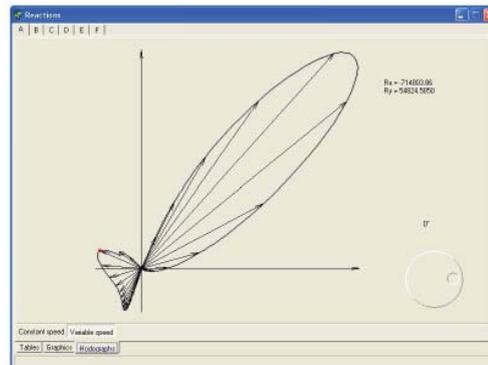


Рис. 9. Годографы реакций в соединении между кривошипом и стойкой при $\omega = \text{const}$ и при $\omega = \text{var}$

Fig. 9. Hodographs of reactions in the connection between the crank and the strut at $\omega = \text{const}$ and at $\omega = \text{var}$



Выполняется моделирование процесса нарезания четырёх колёс: нулевого (коэффициент смещения $x_1 = 0$), двух положительных ($x_2 = x_1 + x_{\min}$), ($x_3 = x_1 + 0,2$) и отрицательно ($x_4 = x_{\min} + 0,2$). По окончании работы делается вывод о влиянии смещения инструмента на подрез ножки, заострение вершин зубьев, сравнивается толщина зуба с шириной впадины на делительной окружности для различных колёс. Работа «Определение параметров цилиндрической прямозубой зубчатой передачи» выполняется на моделях. В этой работе необходимо определить типы зубчатых колёс, передачи, показатели качества передачи. «Анализ показателей качества зубчатой передачи» выполняется на ПК в системе GCG&FQ [2].

Делается расчёт для трёх вариантов: передачи, с которой работали в предыдущей работе: нулевой и выбранной по одному из условий рационального проектирования – минимальные габариты, наибольший коэффициент перекрытия, наименьшее скольжение на ножке шестерни.

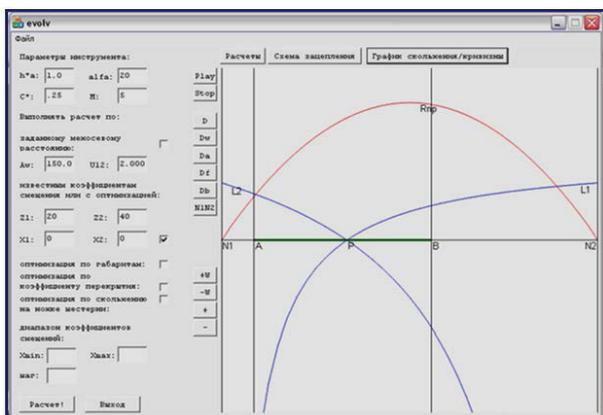


Рис. 11. Графики скольжения и приведённого радиуса кривизны

Fig. 11. Graphs of slip and reduced radius of curvature

Студенты получают результаты расчета в виде таблицы и графики показателей качества (рис. 11), анализируют их и делают выводы.

В таком же ключе выполняются работы: «Исследование кинематики передач» на моделях планетарных и дифференциальных механизмов, «Построение профиля кулачка» на лабораторных стендах, на ПК в системе АПМ Win Machine [2].

Модульный принцип создания ЛКМК

Лабораторному оборудованию по инженерным обще профессиональным дисциплинам требуется полное обновление. Наиболее известные и продвинутые в области изготовления лабораторного оборудования Российские фирмы «Учтех-Профи» и «Зарница» представляют достаточно полный список нового оборудования.

Многие модели и стенды аналогичны прежним образцам в новом исполнении (рис. 12, а, б, 13, а). Однако появились и принципиально новые, в составе которых есть уже ноутбуки (рис. 12, в и 13, б), аналого-цифровые платы, т. е. возможен удалённый доступ. Следует, однако отметить, что модели стали заметно тяжелее и их стоимость очень высока. Например, комплект моделей «Структурный анализ механизмов и машин», состоящий из 14-ти моделей сложных механизмов стоит 1 337 650 руб., стенд «Нарезание эвольвентных зубьев методом обкатки» – 74 780 руб. (масса 8 кг), установка «Редуктор конический» – 402 820 руб. (Учтех-Профи), «Винтовая кинематическая пара» – 539 800 руб. Ситуация вынуждает идти по пути интеграции учебных дисциплин – созданию кафедр (департаментов) общепрофессиональных дисциплин и организации региональных лабораторий, оборудованных современными стендами с удалённым доступом.

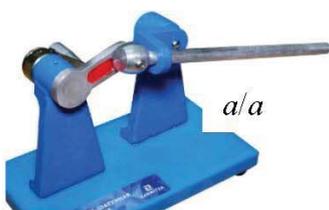


Рис. 12. Примеры продукции фирмы «Зарница»: а – Модель кривошипно-шатунной передачи; б – Модель механизма возвратно-поступательного движения; в – Комплект «Винтовая кинематическая пара»

Fig. 12. Examples of Zarnitsa products: а – Model of crank gear; б – Model of the reciprocating motion mechanism; в – Set “Helical kinematic pair”



Рис. 13. Примеры продукции фирмы «Учтех-Профи»: а) Стенд «Нарезание эвольвентных зубьев методом обкатки»; б) Установка «Редуктор конический»

Fig. 13. Examples of products of the firm "Uchtech-Profi": a) Stand "Cutting involute teeth by the rolling method"; b) Installation "Bevel gearbox"

Особое внимание следует уделить демонстрационным моделям и установкам по курсу ТММ, раздел «Структура и моделирование схем механизмов». Целесообразно применить в них принцип «Лего», используя предложенные нами обобщённые структурные модули, подробно описанные в наших работах [1–4]. На рис. 14 приведены наиболее часто встречающиеся в различных машинах (4 из 10 предложенных нами).

Особенность обобщённых структурных модулей заключается в наличии дополнительных точек, к которым можно присоединять структурные модули в любой последовательности любое их количество (на рис. 15–18 приведены примеры). Такие модели должны быть на каждой кафедре, где изучаются курсы ТММ, Прикладная механика и другие. Это позволит расширить круг задач лабораторного практикума, добавив сборку механизма, а

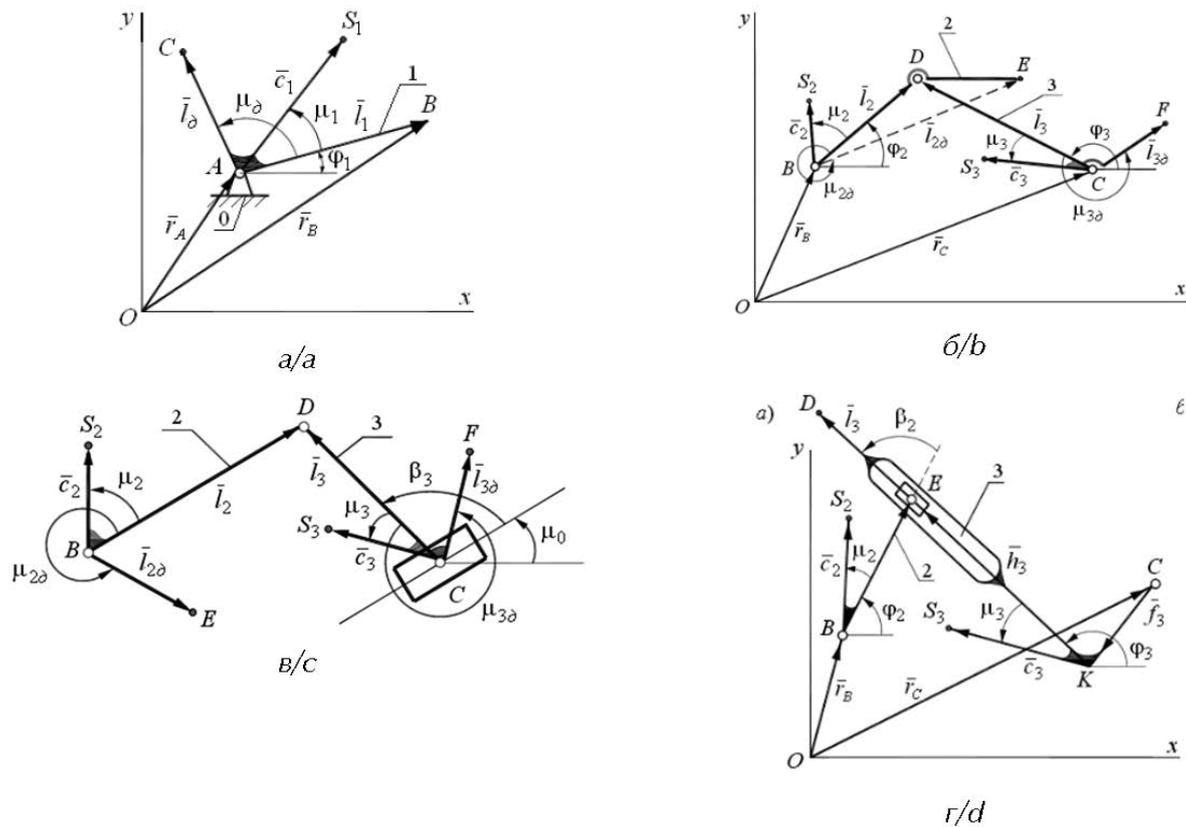


Рис. 14. Обобщённые структурные модули: а) модуль первого класса первого вида $I_1(0,1)$; б) модуль второго класса первого вида $II_1(2,3)$; в) модуль второго класса второго вида $II_2(2,3)$; г) модуль второго класса третьего вида $II_3(2,3)$

Fig. 14. Generalized structural modules: a) module of the first class of the first type $I_1(0,1)$; b) module of the second class of the first type $II_1(2,3)$; c) module of the second class of the second type $II_2(2,3)$; d) module of the second class of the third type $II_3(2,3)$

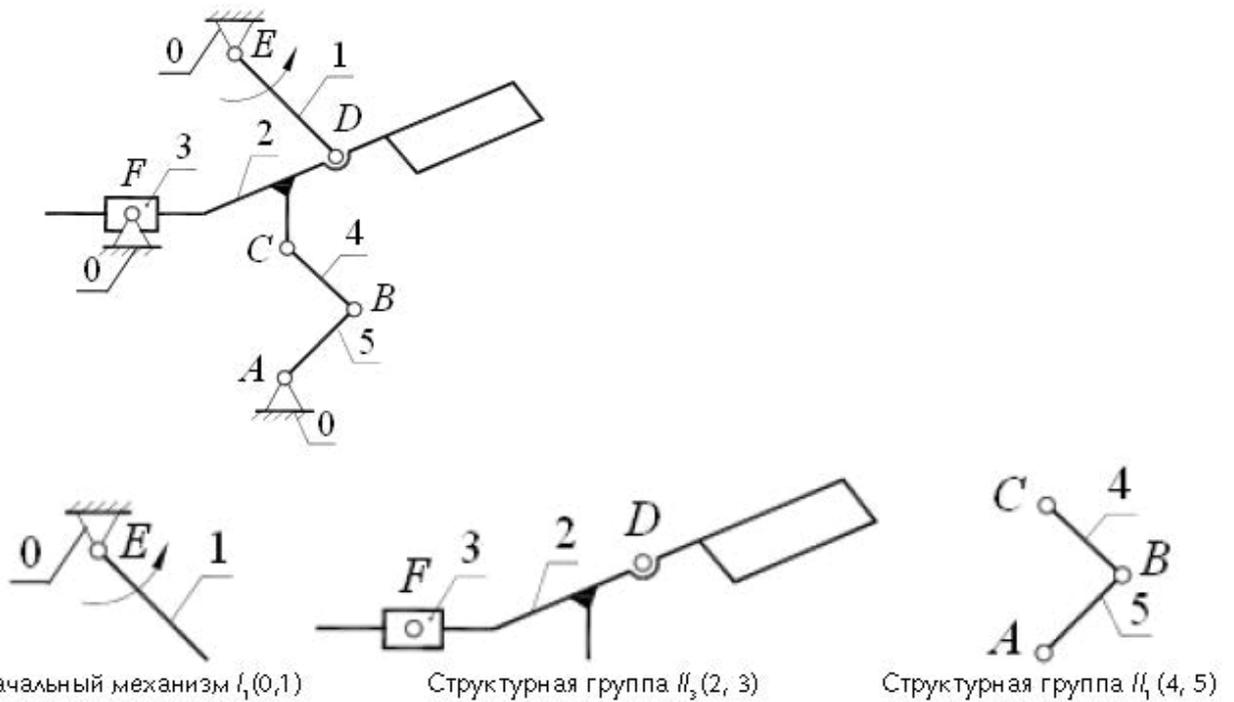


Рис. 15. Схема механизма второго класса
Fig. 15. Scheme of the mechanism of the second class

в удалённом доступе выполнить для них исследование кинематики и динамики в полном объёме не только на ПК, но и экспериментально.

Механизм (рис. 15) образован присоединением к начальному механизму $I_1(0,1)$ двух структурных групп второго класса второго

порядка: первого вида $II_1(4,5)$, и третьего вида $II_3(2,3)$.

В составе механизма двигателя входное звено $I_1(0,1)$ и 6 структурных групп II_2 .

На рис. 17, а представлен механизм с шестью структурными модулями: один первого класса первого типа и пять модулей вто-

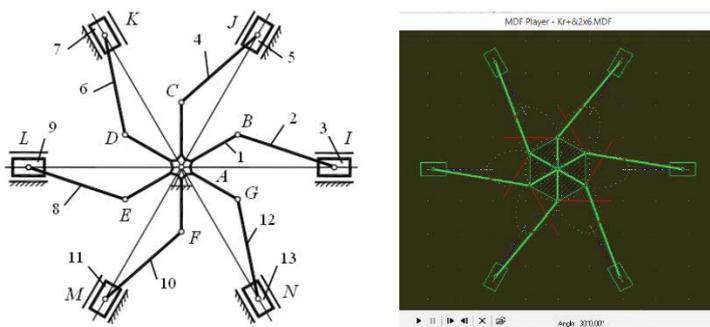


Рис. 16. Схема шести цилиндрического двигателя и визуализация его схемы в системе VSE
Fig. 16. Diagram of a six-cylinder engine and visualization of its diagram in the VSE sys

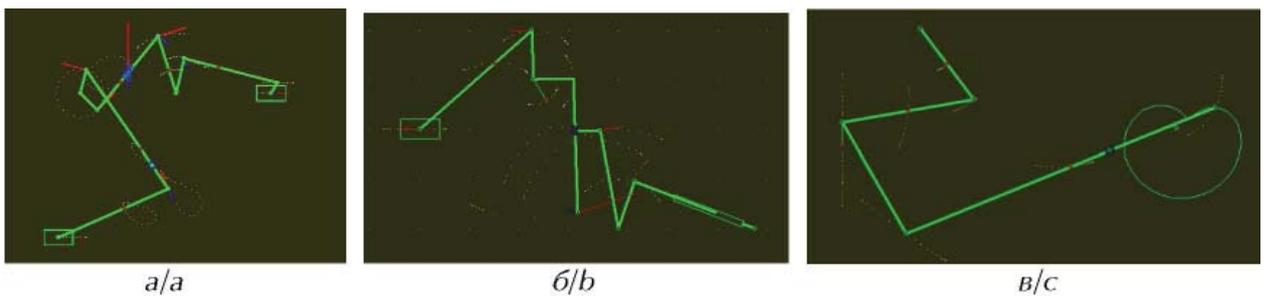


Рис. 17. Фантазии автора на тему моделирования схем механизмов в системе VSE
Fig. 17. Fantasies of the author on the topic of modeling schemes of mechanisms in the VSE system

рого класса – два второго вида и по одному третьего и четвёртого видов, на рис. 17, б представлен механизм с пневмо- или гидроприводом. На рис 17, в представлена схема реального механизма высадки кирпичей, в котором входное звено кулачок. В таком варианте это механизм третьего класса. Однако, применив инверсию, можно сделать входным звеном ползун (механизм первого класса второго типа) задав ему необходимый закон движения. Это будет кулисный механизм с двумя структурными модулями второго класса: первого и третьего видов. Выходная точка кулисы опишет необходимый профиль кулачка.

Проблемы разработки и изготовления АКМК

Производство такого оборудования вполне реально на уже существующих предприятиях, например, «Учтех-Профи», «Зарница», «Дидактические Системы» и другие. Теоретически вопрос проработан достаточно полно. Предполагаемые этапы разработки:

1. Разработка конструкций обобщённых структурных модулей по 3–4 каждого модуля (всего 10 модулей).
2. Изготовление модулей согласно п. 1 каждого вида до 10 вариантов (всего 30–40 шт.).
3. Разработка технологии сборки:
 - кривошипно-ползунных механизмов (до 10 вариантов);
 - шарнирные механизмы (до 10 вариантов);
 - кулисные механизмы (до 10 вариантов);
 - механизмы с группами $II_4(2,3)$ и $II_5(2,3)$ (до 10 вариантов);
 - механизмы с группами II_6 (до 10 вариантов);
 - механизмы с входным звеном – ползун (до 5 вариантов);
 - механизмы с входным звеном – кулачок (до 5 вариантов);
 - механизмы с входным звеном – пневмо-гидропривод (до 5 вариантов).
4. Подготовка описания к п. 3.
5. Проведение испытаний по п. 3.
6. Подбор (заказ) или разработка и изготовление датчиков для определения:
 - скоростей и ускорений (линейных и угловых) основных точек и звеньев;
 - реакций в соединениях;
 - уравновешивающего момента;
 - сил и моментов сил инерции;
 - напряжения изгиба, напряжений сжатия и растяжения;
- напряжения смятия;
- напряжения среза;
- напряжения кручения.
7. Подготовка описания к п. 6.
8. Проведение испытаний по п. 6.
9. Оформление патентов по мере готовности изделий.
10. Создание учебной лаборатории для проведения лабораторных работ по инженерным дисциплинам: теоретическая механика, сопротивление материалов, теория механизмов и машин, детали машин и основы конструирования, по многим специальным дисциплинам, в которых изучается технологическое оборудование.
11. Реализация удалённого доступа для выполнения комплекса лабораторных работ при дистанционной форме обучения.

Задача сложная, но выполнимая и крайне необходимая. Проблемы, к сожалению, часто возникают из-за непонимания высшего руководства, начиная от кафедры, города, региона до министерства. Они не способны (или не хотят) реально объединить науку и производство, особенно, если авторы идей и производители находятся географически далеко друг от друга (Владивосток и Москва), а президенту на всё не хватает времени.

Заключение

Лабораторный практикум с компьютерной поддержкой выполняется во время аудиторных занятий, в часы самостоятельной работы, в рамках НИРС. Студенты выполняют работы группами по два человека. Выполнение лабораторного практикума с компьютерной поддержкой позволяет научить будущих специалистов грамотному применению современных средств исследования и рационального проектирования механизмов. Однако парк экспериментальных установок для проведения лабораторных работ по курсу ТММ устарел и физически и морально. Опыт выполнения лабораторных работ с компьютерной поддержкой привёл к выводу о необходимости создания принципиально новых лабораторных установок с современными средствами эксперимента, обработки его результатов, с возможностью удалённого доступа для обучения по дистанционным технологиям. Это требует значительных финансовых вложений и кооперирования интеллектуальных ресурсов на уровне региона, страны, а возможно и нескольких государств. Мы готовы к сотрудничеству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузлякина В.В., Нагаева М.В., Роншина Е.С. IT-технологии в образовании. 40 лет пути (Опыт работы МГУ им. адм. Г. И. Невельского, Дальрыбвтуза, ДВФУ) //Сборник статей и докладов. – Palmarium 2020. – 493 с.
2. Кузлякина В.В., Нагаева М.В., Роншина Е.С. Теория механизмов и машин. Часть II. Лабораторный практикум и учебное проектирование с применением САПР – Palmarium, 2019. – 472 с.
3. Кузлякина В.В., Нагаева М.В. Теория механизмов и машин. Часть I. Современные технологии в классической науке: учебник – Palmarium, 2018. – 472 с.
4. Кузлякина В.В., Нагаева М.В., Ермолаева Л.А. IT-технологии в инженерном проектировании // Сборник статей и докладов. – Palmarium 2020. – 373 с.

Дата поступления 20.10.2020

UDC 004.4; 621.01

INTEGRAL LABORATORY COMPUTERS – MECHANICAL COMPLEXES OF THE FUTURE

Valentina V. Kuzlyakina,

Dr. Sc., Professor, KuzlyakinaVV@mail.ru

17, Rybatskaya str., Vladivostok, 690054, Russia.

The article deals with the problem of providing engineering education with modern laboratory equipment. Comprehensive digitalization has been proclaimed in the twenty-first century. Significant progress has been achieved in many educational areas, except engineering. Particularly difficult problems in the creation of laboratory complexes.

Key words: computer technologies, laboratory complexes, sensors, remote access.

REFERENCES

1. Kuzlyakina V.V., Nagayeva M.V., Ronshina E.S. IT-tehnologii v obrazovanii. 40 let puti (Opyt raboty MGU im. adm. G.I. Nevelskogo, Dalrybvtuza, DVFU) [IT technologies in education. 40 years of journey (Experience of Moscow State University named after Adm. G.I. Nevelskoy, Dalrybvtuz, Far Eastern Federal University)]. *Sbornik statey i dokladov*. Palmarium, 2020. 493 p.
2. Kuzlyakina V.V., Nagayeva M.V., Ronshina E.S. *Teoriya mekhanizmov i mashin. Chast' II. Laboratornyy praktikum i uchebnoye proyektirovaniye s primeneniyyem SAPR* [The theory of mechanisms and machines. Part II. Laboratory workshop and educational design using CAD]. Palmarium, 2019. 472 p.
3. Kuzlyakina V.V., Nagayeva M.V. *Teoriya mekhanizmov i mashin. Chast I. Sovremennyye tekhnologii v klassicheskoy nauke* [The theory of mechanisms and machines. Part I. Modern technologies in classical science]. Palmarium, 2018. 472 p.
4. Kuzlyakina V.V., Nagayeva M.V., Ermolayeva L.A. IT-tehnologii v inzhenernom proyektirovaniyu [IT-technologies in engineering design]. *Sbornik statey i dokladov*. Palmarium, 2020. 373 p.

Received: 20.10.2020