

В.С. Петрушин

## МЕТОДИЧЕСКОЕ, ПРОГРАММНОЕ И ЛАБОРАТОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

*Пропонується інноваційна електротехнічна дисципліна «Електричні машини в мехатронних системах». Обґрунтовується необхідність вивчення дисципліни студентами електротехнічної спеціальності. Наведено розділи та об'єм дисципліни, а також методичне, програмне та лабораторне забезпечення, яке сприяє якісному засвоєнню навчального матеріалу. Перераховані розроблені заходи і методичні вказівки до розрахунково-графічних робіт даної дисципліни. Бібл. 11.*

*Ключові слова:* інноваційна електротехнічна дисципліна, розділи навчальної дисципліни, методичні вказівки до розрахунково-графічних робіт.

*Предлагается инновационная электротехническая дисциплина «Электрические машины в мехатронных системах». Обосновывается необходимость изучения дисциплины студентами электротехнической специальности. Приведены разделы и объем дисциплины, а также методическое, программное и лабораторное обеспечение, способствующее качественному усвоению учебного материала. Перечислены разработанные мероприятия и методические указания к расчетно-графическим работам данной дисциплине. Библ. 11.*

*Ключевые слова:* инновационная электротехническая дисциплина, разделы учебной дисциплины, методические указания к расчетно-графическим работам.

В настоящее время учебный процесс, касающийся большинства технических специальностей, в том числе электротехнической, не поспевает за стремительным развитием промышленности. Для устранения этого недостатка целесообразно введение в учебный процесс актуальных дисциплин, наиболее отвечающих потребностям сегодняшнего дня, в частности дисциплины «Электрические машины в мехатронных системах». Разделами дисциплины являются: полупроводниковые преобразователи мехатронных систем; особенности работы асинхронных двигателей в регулируемых электроприводах, вентильные двигатели, проектирование регулируемых асинхронных и вентильных двигателей, работа двигателей постоянного тока в регулируемых электроприводах, трансформаторы для мехатронных систем, особенности работы синхронных генераторов на преобразовательную нагрузку.

Использование регулируемых электроприводов (РЭП), являющихся базой современных высоких технологий, во всех отраслях промышленности и на транспорте дает возможность совершенствовать технологические процессы, обеспечивает комплексную механизацию и автоматизацию производства, способствует повышению качества выпускаемой продукции, снижению её себестоимости, росту производительности труда, повышению надежности и срока службы оборудования. Широкое применение РЭП привело к тому, что современный электропривод является не только энергосиловой основой, позволяющей обеспечить производственные механизмы необходимой механической энергией, но и средством управления технологическими процессами, так как задачи по реализации качества производственных процессов в настоящее время в большинстве случаев возлагаются на системы управления регулируемыми электроприводами в сочетании с системами технологической автоматики. Особое значение имеют энергосберегающие аспекты использования РЭП. В связи с возрастанием цен на энергоносители, в частности на электроэнергию, и ограниченными возможностями увеличения мощности энергогенерирующих установок проблема

энергосбережения, в том числе снижения электропотребления, приобретает особую актуальность. Энергосбережение стало одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира. Это связано, во-первых, с ограниченностью и невозобновляемостью основных энергоресурсов, во-вторых, с непрерывно возрастающими сложностями их добычи и стоимостью, в третьих с глобальными экологическими проблемами.

Электромеханические системы с регулируемыми асинхронными (АД) и вентильными (ВД) двигателями, в которых осуществляется объединение энергетических и информационных процессов, обеспечивают максимальное использование возможностей и достижений электроники для осуществления преобразования электрической энергии в механическую. При этом достигается увеличение ресурса работы оборудования, уменьшение эксплуатационных потерь, высокая надежность работы.

Недостаточное знание особенностей работы основного звена регулируемого электропривода – АД или ВД – не позволяет совершенствовать электропривод за счет модернизации этого звена. Всесторонний анализ работы АД и ВД в системах РЭП на основе системного подхода и методов системного анализа дает возможность проектировать специальные регулируемые АД и ВД с улучшенными регулировочными, пусковыми, динамическими и виброакустическими показателями, сниженными массогабаритностойкими характеристиками. Потребность в специалистах, владеющих знаниями, приобретенными в процессе изучения дисциплины, наблюдается во всех областях промышленности и транспорта, где применяются устройства электромеханического преобразования энергии. Особое влияние предполагается в электротехнической промышленности, осуществляющей проектирование и производство рассматриваемых двигателей [1].

Предлагаемый проект касается учебной реформы, способствующей интенсификации учебного

© В.С. Петрушин

процесса, в части разработки курсов для степени бакалавра. Учебная дисциплина «Электрические машины в мехатронных системах» может быть введена в учебный процесс на основе принципов, предусмотренных Европейской кредитно-трансферной системой (ECTS). Формирование индивидуального учебного плана студента предусматривает возможность выбора этой дисциплины, соответственно структурно-логической схеме подготовки специалистов. Учебная нагрузка по данной дисциплине составляет четыре кредита ECTS в течение одного семестра. Она предусматривает 30 часов лекционных занятий, 15 часов лабораторных занятий. В процессе изучения этой дисциплины студенты выполняют самостоятельную курсовую работу. Контроль усвоения учебного материала осуществляется с использованием современных методов и способов и регистрируется оценками шкалы ECTS. Дисциплина может преподаваться в традиционном режиме и в дистанционном режиме.

Современные технологии обучения должны быть приспособлены к новым принципам организации учебного процесса, обеспечивающих за счет введения в него проблем промышленности повышение уровня подготовки студентов к инженерной деятельности. В состав основных средств должны входить мероприятия по разработке и реализации информационных образовательных технологий, развитию научно-исследовательской и научно-технической деятельности в системе образования. Инновационная техническая дисциплина должна быть обеспечена современными методическими и программными разработками, позволяющими проведение не только очного, но и заочного, дистанционного, последиplomного обучения. Использование европейских образовательных тенденций в Украине позволит приблизить национальные стандарты преподавания к стандартам европейского образования. Одним из результатов является установление рабочих связей между учебной деятельностью, научными исследованиями, производственной и социальной практикой.

Для решения вышеуказанного было осуществлено следующее:

- выполнено становление (разработка) инновационной технической дисциплины, учебным материалом которой является наиболее актуальнейшая тематика, и злободневность которой подтверждается новейшими достижениями в электротехнической отрасли. Актуальность дисциплины «Электрические машины в мехатронных системах» подтверждается широким использованием РЭП во всех отраслях промышленности и на транспорте для рационального управления технологическими процессами при минимизации потребления энергоресурсов;

- осуществлена разработка структуры интерактивного учебно-тренажерного комплекса по данной инновационной дисциплине, представляющего собой компьютерное средство обучения в виде программного и методического обеспечения, а также баз данных и знаний и состоящего из функционально связанных систем мультимедийного обучения, интерактивного обучения, автоматизированного контроля процесса обучения;

- выполнена разработка мультимедийной системы обучения, содержащей электронные учебники и учебно-методические пособия по курсу в виде аудиовизуальной информации, а также различные справочные руководства;

- осуществлена разработка системы интерактивного обучения, представляющей собой компьютерный тренажер, с помощью которого можно выполнять ряд расчетно-графических (анализ работы серийных общепромышленных АД в различных системах регулируемого ЭП, проектирование специальных регулируемых АД и ВД для работы в РЭП) и виртуальных лабораторных работ по исследованию особенностей работы АД и ВД в различных системах РЭП. Для выполнения системы интерактивного обучения разработано многоуровневое программное обеспечение, позволяющее проводить анализ электромагнитных электромеханических, энергетических, тепловых, механических, виброакустических процессов в двигателях и на базе этого анализа осуществлять автоматизированный выбор и оптимизационное проектирование двигателей РЭП. Обеспечена возможность связи разработанного программного обеспечения с другими распространенными и используемыми в промышленности вычислительными средствами;

- выполнена разработка системы автоматизированного контроля, которая служит для проведения входного, текущего и итогового контролей и включает в себя тестирующие программы, базы данных тестовых вопросов-ответов, регистрационно-учетный журнал, временную статистику обучения в наглядной форме;

- разрабатывается обеспечение поддержки индивидуальных образовательных траекторий, использование в системе открытого дистанционного образования в режиме удаленного доступа через глобальную сеть Internet, обладающего интерактивностью и дифференцированным подходом к обучению;

- возможно качественное обучение этой инновационной технической дисциплиной всех желающих, доступ всех желающих к методическим и программным материалам;

- возможно формирование активного диалога между пользователями в рамках изучения данной дисциплины и сообществ, проявляющих интерес к данной технической дисциплине;

- может быть обеспечен обмен данными и знаниями, необходимыми для новых учебных и исследовательских подходов, для представления и распространения результатов, подготовки научных докладов.

Программа DIMAS-Drive [2] выполняет математическое моделирование физических (электромагнитных, электромеханических, тепловых, механических, виброакустических) процессов в статических и динамических режимах в асинхронных двигателях регулируемых электроприводов с согласующими трансформаторами и редукторами, с полупроводниковыми преобразователями, отличающимися типами, видами и способами регулирования, законами частотного управления. Математические модели учитывают конструктивные особенности двигателей (закрытое и защищенное исполнение) и их систем охлаждения (самоохлаждение и независимое охлаждение, вентиля-

ционные каналы), конструкцию короткозамкнутых роторов. Учитывается влияние на физические процессы насыщения магнитной цепи, вытеснения токов в обмотках, наличие высших пространственно-временных гармоник. Рассматриваются механических и виброакустических показателей в динамических режимах. На основании многократного целенаправленного моделирования с учетом характера, величины и режима работы нагрузки в определенном диапазоне регулирования осуществляется проектирование (структурная и параметрическая оптимизации) специальных регулируемых асинхронных двигателей при разных постановках задач (проектирование на заданный диапазон регулирования, проектирование с учетом продолжительности работы на конкретных частотах вращения, проектирование на заданную тахограмму с учетом переходов).

Разработаны методические указания [3-11]: к лабораторным работам на экспериментальных стендах либо к виртуальным лабораторным работам; к расчетно-графическим работам: исследование электро-механических и энергетических характеристик регулируемых асинхронных двигателей; анализ теплового состояния регулируемых асинхронных двигателей; анализ виброакустических показателей регулируемых асинхронных двигателей; исследование эксплуатационных характеристик электроподвижного состава с тяговыми асинхронными двигателями; анализ работы вентильно-реактивных двигателей.

Выполнение студентами лабораторных работ на экспериментальных стендах либо виртуальных лабораторных работ по исследованию характеристик двигателей и приводов при фазовом и частотном регулировании дает возможность закрепить на практике теоретические положения.

Знания, приобретенные в результате изучения дисциплины «Электрические машины в мехатронных системах» могут быть использованы при выполнении выпускных работ на уровнях бакалавра и магистра.

Выполнение большого числа учебных проектов (тяговые асинхронные двигатели магистральных электропоездов и городского электротранспорта, двигателей насосных и вентиляционных установок регулируемой производительности, конвейеров и транспортеров, рольгангов, редукторных и безредукторных лифтовых лебедок и т.д.) показало, что в результате проектирования удалось снизить мощность требуемых частотных преобразователей и уменьшить габариты двигателей при неизменных мощностях или увеличить их мощность при неизменных габаритах при согласовании настроек преобразователя и проектировании двигателей под эти настройки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрушин В.С. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе: Учебное пособие. – Одесса: Наука и техника, 2006. – 320 с. (<https://books.google.com/books?isbn=966833549x>).
2. Петрушин В.С., Рябинин С.В., Якимец А.М. Программный продукт «DIMASDrive». Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода (свидетельство о регистрации программы П.А.№4065). – К.: Государственный департамент интеллектуальной собственности, 26.03.2001.

3. Петрушин В.С., Якимец А.М. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Електричні машини в регульованому приводі» для студентів напрямку «Електромеханіка». Одеса: ОНПУ, 2007. – 33 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=7556>).

4. Петрушин В.С., Якимец А.М., Лисенко С.І. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Електромеханотроніка». Одеса: ОНПУ, 2008. – 13 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=10594>).

5. Петрушин В.С., Якимец А.М., Груша А.В. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дослідження характеристик асинхронних двигунів при фазовому та частотному регулюваннях з дисципліни «Електричні машини в регульованому приводі» для спеціалістів і магістрів за фахом «Електричні машини та апарати» та «Електричний транспорт». Одеса: ОНПУ, 2008. – 34 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=1945>).

6. В.С. Петрушин, А.М. Якимец, М.П. Барбіягра. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дослідження теплових характеристик асинхронних двигунів з дисципліни «Теплові та вентиляційні розрахунки електричних машин» для спеціалістів і магістрів за фахом «Електричні машини та апарати» та «Електричний транспорт». Одеса: ОНПУ, 2011. – 28 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=15442>).

7. Петрушин В.С., Якимец А.М. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дослідження характеристик асинхронних двигунів при живленні від частотного перетворювача з різними налаштуваннями з дисципліни «Електромеханотроніка» для магістрів за фахом «Електричні машини та апарати» та «Електричний транспорт». Одеса: ОНПУ, 2011. – 25 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=15445>).

8. Петрушин В.С., Якимец А.М., Пірковський С.М. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Основи електричної тяги» для студентів напрямку «Електромеханіка». Одеса: ОНПУ, 2012. – 36 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=17537>).

9. Петрушин В.С. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Вібрація та шум електричних машин» для студентів напрямку «Електромеханіка». Одеса: ОНПУ, 2015. – 27 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=25120>).

10. Римша В.В., Якимец А.М. Моделювання вентильно-реактивних двигунів. Дослідження характеристик. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи при підготовці фахівців за напрямком 0922 - «Електромеханіка». ОДЕСА: ОНПУ, 2006. – 26 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=6923>).

11. Петрушин В.С. Методичні вказівки до віртуальних лабораторних робіт з дослідження характеристик асинхронних двигунів при фазовому та частотному регулюваннях з дисципліни «Електричні машини в регульованому приводі» для спеціалістів і магістрів за фахом «Електричні машини та апарати» та «Електричний транспорт». Одеса: ОНПУ, 2016. – 19 с. (<http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iframe?mId=26860>).

#### REFERENCES

1. Petrushin V.S. *Asinhronnye dvigateli v reguliruemom elektroprivode: Uchebnoe posobie* [Induction motors in adjustable electric: Textbook]. Odessa, Nauka i tehnika Publ., 2006. 320 p. (Rus). Available at: <https://books.google.com/books?isbn=966833549x>.

2. Petrushin V.S., Rjabinin S.V., Yakimets, A.M. *Programmyj produkt «DIMASDrive». Programma analiza raboty, vybora i proektirovaniya asinhronnykh korotkozamknutykh dvigatelej sistem reguliruemogo elektroprivoda* [Program performance analysis, selection and design of asynchronous cage motors controlled drive systems]. Patent UA, no.4065. (Ukr).
3. Petrushin V.S., Yakimets, A.M. *Metodichni vkazivki do rozrakhunkovo-grafichnoi roboti z distsiplini «Elektrichni mashini v regul'ovanomu privodi» dlia studentiv napriamku «Elektromekhaniki»* [Guidance for calculation-graphic work on the subject «Electric machines in a regulated drive» for students of direction «Electromechanics»]. Odesa, ONPU Publ., 2007. 33 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=7556>.
4. Petrushin V.S., Yakimets A.M., Lysenko S.I. *Metodichni vkazivki do rozrakhunkovo-grafichnoi roboti z distsiplini «Elektromekhanotronika»* [Guidance for calculation-graphic work on the subject «Elektromekhanotronika»]. Odesa, ONPU Publ., 2008. 13 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=10594>.
5. Petrushin V.S., Yakimets A.M., Grusha A.V. *Metodichni vkazivki do laboratornikh robot z doslidzhennia kharakteristik asinkhronnikh dviguniv pri fazovomu ta chastotnomu reguliuvanniakh z distsiplini «Elektrichni mashini v regul'ovanomu privodi» dlia spetsialistiv i magistriv za fakhom «Elektrichni mashini ta aparati» ta «Elektrichnii transport»* [Guidance for laboratory works on research performance phase asynchronous motors with frequency regulation and discipline «Electric machines in a regulated drive « for specialists and masters in the specialty «Electrical machines and apparatus « and «Electric transport»]. Odesa, ONPU, Publ., 2008. 34 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=11945>.
6. Petrushin V.S., Yakimets A.M., Barbiniagra M.P. *Metodichni vkazivki do laboratornikh robot z doslidzhennia teplovikh kharakteristik asinkhronnikh dviguniv z distsiplini «Teplovi ta ventilatsiini rozrakhunki elektrichnikh mashin» dlia spetsialistiv i magistriv za fakhom «Elektrichni mashini ta aparati» ta «Elektrichnii transport»* [Guidance for laboratory works on the study of thermal characteristics of asynchronous motors with the subject «Heating and ventilation calculations electric machines» for specialists and masters in specialty «Electrical machines and apparatus» and «Electric Transport»]. Odesa, ONPU Publ., 2011. 28 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=15442>.
7. Petrushin V.S., Yakimets A.M. *Metodichni vkazivki do laboratornikh robot z doslidzhennia kharakteristik asinkhronnikh dviguniv pri zhivlenni vid chastotnogo peretvoriuvacha z riznimi nalashuvanniami z distsiplini «Elektromekhanotronika» dlia magistriv za fakhom «Elektrichni mashini ta aparati» ta «Elektrichnii transport»* [Guidance for laboratory works on research performance asynchronous motors with power from the frequency converter with different settings on discipline «Elektromekhanotronika» for masters in specialty «Electrical machines and apparatus» and «Electric Transport»]. Odesa, ONPU Publ., 2011. 25 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=15445>.
8. Petrushin V.S., Yakimets A.M., Pirkovskii S.M. *Metodichni vkazivki do rozrakhunkovo-grafichnoi roboti z distsiplini «Osnovi elektrichnoi tiagi» dlia studentiv napriamku «Elektromekhaniki»* [Guidance for calculation-graphic work on the subject «Fundamentals of electric traction» for students of direction «Electromechanics»]. Odesa, ONPU Publ., 2012. 36 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=17537>.
9. Petrushin V.S. *Metodichni vkazivki do rozrakhunkovo-grafichnoi roboti z distsiplini «Vibratsiia ta shum elektrichnikh mashin» dlia studentiv napriamku «Elektromekhaniki»* [Guidance for calculation-graphic work on the subject «The vibration and noise of electrical machines» for students of direction «Electromechanics»]. Odesa, ONPU Publ., 2015. 27 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=25120>.
10. Rymsha V.V., Yakimets A.M. *Modeliuvannia ventil'no-reaktivnikh dviguniv. Doslidzhennia kharakteristik. Metodichni vkazivki do vikonannia rozrakhunkovo-grafichnoi roboti pri pidgotovtsi fakhivtsiv za napriamkom 0922 – «Elektromekhanika»* [Simulation of valve-jet engines. Research characteristics. Guidance for calculation-graphic work at the direction of training 0922 – «Electromechanics»]. Odesa, ONPU Publ., 2006. 26 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=6923>.
11. Petrushin V.S. *Metodichni vkazivki do virtual'nikh laboratornikh robot z doslidzhennia kharakteristik asinkhronnikh dviguniv pri fazovomu ta chastotnomu reguliuvanniakh z distsiplini «Elektrichni mashini v regul'ovanomu privodi» dlia spetsialistiv i magistriv za fakhom «Elektrichni mashini ta aparati» ta «Elektrichnii transport»* [Guidance for virtual lab works on research performance phase asynchronous motors with frequency regulation and discipline «Electric cars drive in a regulated» for specialists and masters in «Electrical machines and apparatus» and «Electric Transport»]. Odesa, ONPU Publ., 2016. 19 p. (Ukr). Available at: <http://memos.library.opu.ua:8080/memos/jsp/materials.iface?mId=26860>.

Поступила (received) 17.03.2016

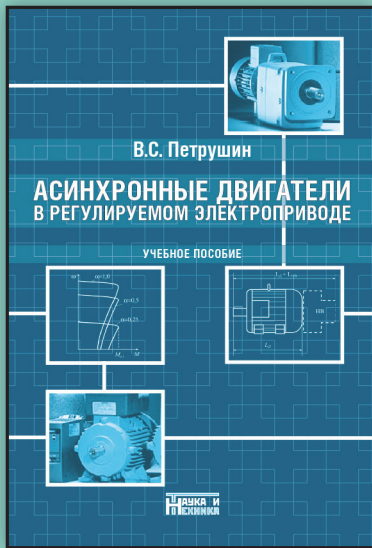
Петрушин Виктор Сергеевич, д.т.н., проф.,  
Одесский национальный политехнический университет,  
65044, Одесса, пр. Шевченко, 1,  
тел./phone +380 048 7058494, e-mail: victor\_petrushin@ukr.net

V.S. Petrushin  
Odessa National Polytechnic University,  
1, Shevchenko Avenue, Odessa, 65044, Ukraine.

**Methodics, software and laboratory equipment for an innovative electrical engineering discipline.**

**Purpose.** Development of innovative electrical engineering discipline «Electric Machines in Mechatronic Systems» in order to improve the training of specialists of electrical engineering specialty. **Methodology.** The proposed project concerns the educational reforms that promote the intensification of the educational process. **Results.** The structure of interactive educational and training complex, which is a computer learning tool in the form of software and methodical support, as well as data and knowledge bases and consists of functionally related multimedia learning systems, interactive learning, automated control of the learning process. **Originality.** To offer online training and research facilities, guidelines for laboratory and computational and graphic works. **Practical value.** Increase the knowledge of students of educational material related to the discipline of innovation «Electric Machines in Mechatronic Systems». References 11.

**Key words:** innovative electrical engineering discipline, sections of the academic discipline, guidelines for calculation and graphic works.



- полупроводниковые преобразователи
- работа асинхронных двигателей в регулируемых электроприводах
- вентильные двигатели
- проектирование регулируемых асинхронных и вентильных двигателей
- работа двигателей постоянного тока в регулируемых электроприводах
- трансформаторы для установок с полупроводниковыми преобразователями
- особенности работы синхронных генераторов на преобразовательную нагрузку

### Методические указания:

- к лабораторным работам на экспериментальных стендах;
- к виртуальным лабораторным работам.

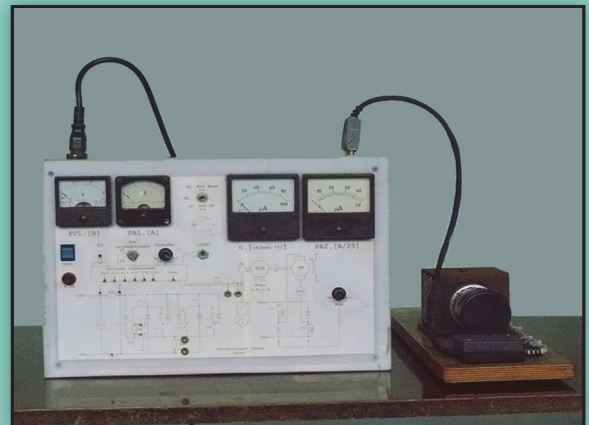
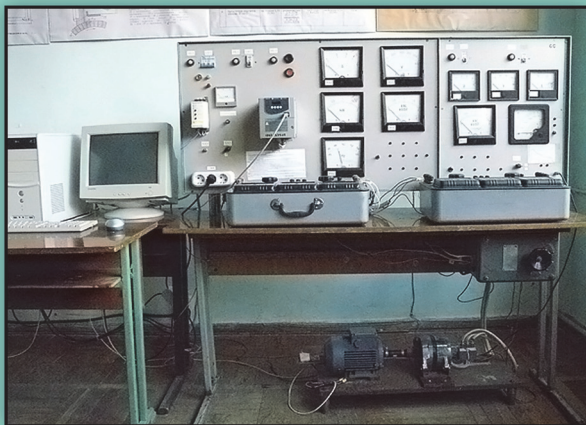
### К расчётно-графическим работам:

- Исследование электрохимических и энергетических характеристик регулируемых асинхронных двигателей;
- Анализ теплового состояния регулируемых асинхронных двигателей;
- Анализ виброакустических показателей регулируемых асинхронных двигателей;
- Исследование эксплуатационных характеристик электродвигательного состава с тяговыми асинхронными двигателями;
- Анализ работы вентильно-реактивных двигателей.

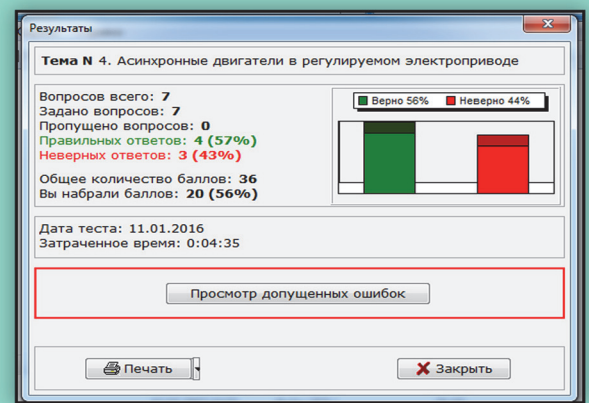
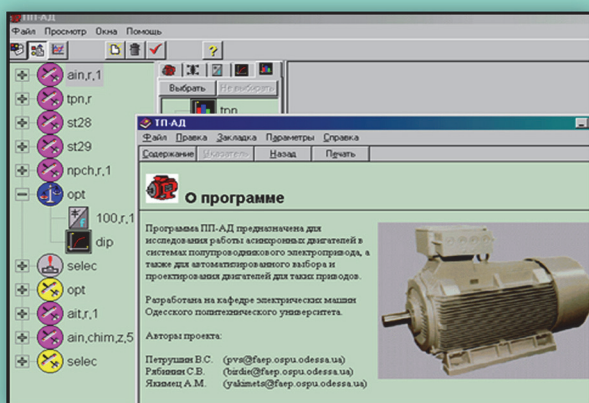


# ИНОВАЦИОННАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ДИСЦИПЛИНА “Электрические машины в мехатронных системах”

## Лабораторное обеспечение



## Программное обеспечение



## Моделирование установившихся и динамических режимов

### Электромагнитные и электромеханические процессы

- Учет насыщения и вытеснения
- Учет высших пространственно-временных гармоник (ВПВГ)

### Виброакустические процессы

- Виброакустические показатели магнитной природы
- Виброакустические показатели механической природы
- Вентиляционный шум

### Энергетические процессы

- Учет электрических добавочных потерь от ВПВГ
- Учет магнитных добавочных потерь

### Расчеты механических параметров

- Прогиб вала
- Критическая частота вращения
- Механическое напряжение
- Динамическая грузоподъемность подшипников

### Тепловые процессы

- Учет переменных тепловых проводимостей
- Учет добавочных электрических и магнитных потерь
- Учет механических греющих потерь

### Расчеты параметров механических характеристик

- Перегрузочная способность
- Жесткость механической характеристики