

А. Г. АНДРЕЕВ, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПИ»;

С. А. НАЗАРЕНКО, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ УЧЕНЫХ ХПИ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Рассмотрена эволюция основных научных достижений ученых и выпускников НТУ «ХПИ» в XIX – XXI ст. в области управления механическими системами: от паровых машин до уникальных космических аппаратов. Показано, как созданный учеными и выпускниками НТУ «ХПИ» научный потенциал позволил Харькову стать ведущим центром создания систем управления для важнейших объектов ракетостроения и космонавтики; наукоемкой и высокотехнологичной продукции оборонного и гражданского назначения, подготовки специалистов.

Ключевые слова: механика, машиностроение, высшее техническое образование; системы управления, динамика, ракетостроение, космонавтика, автоматическое регулирование.

С самого зарождения теории управления ученые и выпускники НТУ «ХПИ» делали большой вклад в ее развитие и практическое воплощение [1]. В статье сделана попытка исследования процесса становления и развития основных достижений многих поколений выдающихся ученых и выпускников НТУ «ХПИ» в XIX – XXI ст. в области управления механическими системами: от паровых машин до космических аппаратов.

Теоретическую и практическую базу исследования в области теории управления в Украине получили с открытием второго в Российской империи Харьковского практического технологического института (ХПТИ). Основатель ХПТИ В. Л. Кирпичев являлся выпускником (1868 г.) и почетным членом (1895 г.) конференции (совета) Михайловской артиллерийской академии (в настоящее время Военная академия ракетных войск стратегического назначения), создателем которой был А. Д. Засядко. В. Л. Кирпичев был руководителем дел первого в Российской империи официального органа по воздухоплаванию – организованной в 1869 г. Комиссии по применению аэростатов к военным целям под председательством начальника инженерных войск Э. И. Тотлебена [2].

С 1871 г. В. Л. Кирпичев участвовал в организованном И. А. Вышнеградским «пентагональном» обществе взаимопомощи в научной разработке вопросов механики и теоретического машиностроения. Тогда И. А. Вышнеградский впервые изложил собственные суждения о расчетах регуляторов. В 1873 и 1876 годах В. Л. Кирпичев выезжал в научные командировки за границу, где в частности прослушал ряд лекций Дж. Максвелла [2]. Ведя уединенную жизнь в имении, Дж. Максвелл написал работу «О регуляторах» (On governors, 1868), которая осталась единственной, касающейся этой отрасли

знаний, и отличной от тех, выдающиеся исследования в которых сделали его знаменитым.

В 1876-77 г. И. А. Вышнеградский; в дальнейшем академик Императорской Санкт-Петербургской Академии Наук (АН), публикует большие работы «Об общей теории регуляторов» и «О регуляторах прямого действия», изданные почти одновременно на русском, французском и немецком языках. В этих работах разработана, в основном, общая теория линейных регуляторов и содержатся в зачаточном виде многие положения теории автоматического управления. Общий подход, который впервые применил И. А. Вышнеградский при составлении математической модели замкнутой системы «объект – регулятор», базирующийся на их совместном рассмотрении, до настоящего времени практически не изменился, за исключением некоторых деталей и терминологии [3].

Идеи основоположника теории автоматического регулирования И. А. Вышнеградского развивали его ученики и последователи – В. Л. Кирпичев, Д. С. Зернов, А. М. Ляпунов и др. Кирпичев был поставлен директором формируемого ХПТИ 3.7 1885 г. Он встретился с уходящим в отставку долголетним заслуженным профессором по кафедре механики Харьковского университета Д. М. Деларю, инициатором приглашения в Харьков в 1872 г. будущего академика В. Г. Имшенецкого. Его сын Михаил Деларю стал одним из первых студентов ХПТИ. Предложение занять освободившуюся кафедру механики в Харьковском университете в августе 1885 г. принял А. М. Ляпунов, весной того же года утвержденный в звании приват-доцента Санкт-Петербургского университета и собиравшийся осенью приступить к чтению курса лекций по теории потенциала. Член Ученого комитета Министерства народного просвещения В. Л. Кирпичев считал Ляпунова, одним из самых перспективных ученых Российской империи, и видел его в своей формирующейся команде преподавателей ХПТИ [2].

Развитие техники привело к увеличению требований к точности регулирования хода машин и необходимости математического решения проблемы устойчивости движения. Задачу, поставленную главой физической лаборатории Кембриджского университета Максвеллом, в 1875 году решил профессор Раус. Он сформулировал критерий устойчивости регулируемого процесса линейных систем, выражаемый в терминах характеристического полинома. По просьбе специалиста по паровым турбинам Стодолы в 1895 г. математик Гурвиц доказал другой (эквивалентный) критерий устойчивости многочлена с действительными коэффициентами, сводящийся к условию положительности некоторых определителей, составленных из коэффициентов многочлена.

В. Л. Кирпичев с 1887 г. привлек к чтению в ХПТИ курса аналитической механики А. М. Ляпунова, который тот вел до 1894 г. В 1888 г. в «Сообщениях Харьковского математического общества» А. М. Ляпунов издал работу «О постоянных винтовых движениях твердого тела в жидкости», в которой впервые были изложены ключевые идеи первого метода Ляпунова в теории

устойчивости. Далее он выпустил целый ряд статей, посвященных устойчивости движения механических систем с конечным числом степеней свободы, двигаясь от изучения частных задач к общим проблемам. Докторская диссертация А. М. Ляпунова «Общая задача об устойчивости движения» стала основополагающей работой в теории устойчивости и принесла ему в дальнейшем мировую славу. Работа опередила время и обладает существенной значимостью в современной математике и механике, особенно в кибернетике, теории автоматического регулирования и управления [4].

В ХПТИ механические дисциплины, определявшие прогресс машинного производства, были базой процесса обучения. Из общего руслу механики в то время начали выделяться ряд сформировавшихся дисциплин: строительная и прикладная механика; паровые машины; термодинамика; регуляторы и другие. В. Л. Кирпичев проанализировал в «Заметке по вопросу о влиянии температуры на упругие напряжения в твердом теле» задачу нахождения распределения температур, обеспечивающего в теле при заданных механических и температурных свойствах отсутствие напряжений. Шестое издание книги В. Л. Кирпичева «Беседы о механике» вышло через 101 год после первого в серии «Физико-математическое наследие» [2]. В монографии есть раздел «Колебания регуляторов паровых машин».

Директор Харьковского технологического института (ХТИ) с 1898 года по декабрь 1902 года, профессор механики Д. С. Зернов подготовил ряд оригинальных научно-педагогических трудов [5]. В курсах лекций по паровым машинам Д. С. Зернов рассматривались также проблемы регулирования, чем было заложено начало симбиозу механики машин, термодинамики и теории управления [6]. Открытия и идеи профессора ХТИ Н. Д. Пильчикова положили начало исследованиям в области телемеханических систем радиодистанционного управления.

Профессор Харьковского университета и ХТИ в конце 19 – начале 20 веков Д. А. Граве в дальнейшем стал почетным членом АН СССР и первым математиком, ставшим академиком АН Украины [7]. Среди его учеников отметим члена-корреспондента АН УССР Н. И. Ахиезера. В 1925 г. академик Д. А. Граве был избран Председателем научного совета Общества по исследованию мирового пространства. Среди киевских учеников Д. А. Граве и Н. И. Ахиезера выделим Генерального конструктора ракетно-космической техники В. Н. Челомея.

В 1901 году Д. С. Зернов пригласил проводить в ХТИ лабораторные занятия по сопротивлению материалов своего и Н. Е. Жуковского ученика в Императорском Московском техническом училище Г. Ф. Проскуру, в дальнейшем члена Президиума и председателя отделения технических наук АН УССР [5]. В 1908 г. была напечатана первая работа Г. Ф. Проскуры «Регулирование хода машин – двигателей». Г. Ф. Проскура читал в ХТИ курсы лекций по регуляторам хода машин, проектированию, паровым машинам, гидравлике, гидравлическим двигателям и др. [7].

Выпускник ХТИ 1908 года Г. А. Ботезат; один из первых экспертов Национального консультативного комитета по авиации, создал по заказу Военно-воздушных сил США первый в мире вертолет, успешно совершивший устойчиво управляемый полет в 1922 г. В 1926 году под руководством А. Я. Щербакова в ХТИ была организована первая в Украине студенческая группа по исследованию проблем реактивного полета [8].

На основе ХТИ в 1930 г. было образовано 6 самостоятельных специализированных институтов для подготовки инженерно-технических кадров, в т. ч. Харьковский механико-машиностроительный (ХММИ), Харьковский электротехнический (ХЭТИ), Харьковский авиационный (ХАИ). Приблизительно до середины 30-х годов XX века теория регулирования формировалась в рамках отдельных технических дисциплин, таких как «регулирование машин», «гидравлические регуляторы», «регулирование электродвигателей», «электропривод» и т. п. Выпускник ХТИ 1924 года Р. Л. Аронов руководил проектированием и строительством центральной заводской лаборатории, наладкой выпускаемых на ХЭМЗе видов электрооборудования, в том числе первого отечественного блюминга и автоматической системы загрузки доменной печи. Наряду с этим он был преподавателем ХЭТИ и написал первый в СССР учебник по автоматическому управлению электроприводами [7].

Кадровую основу созданного в 1939 г. Института энергетики АН УССР составили ученые и выпускники ХММИ и ХЭТИ [9]. В институте работала лаборатория автоматического регулирования отдела автоматики и электроаппаратуры (заведующий В. Л. Иносов, старшие научные сотрудники В. А. Богомолов, Б. И. Алексеев и др.). Интенсивное проникновение следящих систем во все области техники, включая радиотехнику, счетно-решающие устройства и электронику началось с конца 30-х годов.

В феврале – мае 1939 г. в Отделе специальных конструкций, руководимом выпускником ХТИ 1929 года Щербаковым, были проведены успешные летные испытания первых в мире ракет с воздушно-реактивными двигателями и первых советских двухступенчатых ракет. В феврале 1940 г. под руководством А. Я. Щербакова впервые в стране совершил пилотируемый, использующий для своего движения силу реактивной струи ракетоплан РП-318-1, работу над которым начинал С. П. Королев [8].

Анализ тенденций развития военной техники во Второй Мировой войне показал, что ее перспективы связаны с использованием принципа реактивного движения, с развитием управляемых ракет различного назначения. Для решения проблем создания морских баллистических, крылатых и зенитных ракет в 1948 г. был создан Научно-исследовательский институт реактивного (в дальнейшем ракетно-артиллерийского) вооружения (4 НИИ ВМФ). Его первым начальником стал и более 10 лет возглавлял НИИ выпускник ХММИ 1933 г. Н. А. Сулимовский, ставший лауреатом 2 Государственных премий СССР. 16 сентября 1955 г. был произведен первый в мире старт с подводной лодки баллистической ракеты разработки ОКБ-1 и ОКБ-385, у истоков кото-

рых трудился А. Я. Щербаков.

Выпускник ХТИ 1925 г. М. И. Гуревич, ставший лауреатом Ленинской и 6 Государственных премий СССР, с 1949 г. по 1961 г. руководил проектированием, постройкой и испытанием первых советских серийных управляемых крылатых ракет, вошедших в состав вооружения самолетов-ракетоносцев Ту-4, Ту-16, Ту-95К и Ту-22, а также ракет класса «поверхность-поверхность», характеристики которых были лучше, чем у конструкций В. Н. Челомея. Выпускник (1930) ХММИ Г. Е. Лозино-Лозинский разработал самолетную силовую установку с первой в мире серийной форсажной камерой с регулируемым критическим сечением для ТРД и был основным разработчиком в течение 35 лет двигательных установок самых совершенных в мире истребителей и крылатых ракет ОКБ академика АН СССР А. И. Микояна и М. И. Гуревича [10].

В 1951 году основатель лаборатории моделирования систем управления Б. Я. Коган, выпускник ХЭТИ 1938 г., получил Государственную премию СССР за создание и внедрение аналоговых электронных моделирующих устройств, которые были единственным доступным в конце 40-х – начале 50-х годов вычислительным средством, моделировавшим работу системы управления летательными аппаратами. Никаких иных технических средств для решения задачи анализа динамики нелинейных систем автоматического регулирования тогда не имелось. В 1952 г. выходит работа Б. Я. Когана и директора Института автоматики и телемеханики АН СССР В. А. Трапезникова «Принципы построения моделирующих установок для исследования процессов автоматического регулирования». Б. Я. Коган и его сотрудники были одними из первых, инициировавших изучение теории и методов математического моделирования с использованием аналоговых и гибридных вычислительных систем для исследования сложных динамических систем, в первую очередь систем управления.

А. Я. Щербаков, ближайший друг и соратник основоположника космонавтики С. П. Королева, внес решающий вклад в доводку и организацию серийного выпуска первой советской баллистической управляемой ракеты Р-1 [8]. Постановлением Совета Министров СССР № 3539-1646сс от 21 сентября 1951 года в целях «организации производства аппаратуры системы управления для изделий Р-1» Харьковский завод «Электроинструмент» был передан Министерством строительного и дорожного машиностроения Министерству промышленности средств связи. Завод, получивший в дальнейшем наименование «Коммунар», стал первым предприятием в СССР по серийному производству аппаратуры бортовых автономных систем управления (СУ) и наземного испытательно-пускового электрооборудования ракетных комплексов [11].

Завод «Электроинструмент» (оригинальный прообраз современных учебно-производственно-научных комплексов) был создан на базе детской трудовой воспитательной коммуны им. Ф. Э. Дзержинского при поддержке

рабфака ХММИ. А. Я. Щербаков, работавший поблизости в 1927-1935 годах заместителем главного конструктора Харьковского авиазавода, был прекрасно информирован о его возможностях и перспективах, а также о большом вкладе ученых Харькова в зарождение и развитие теории управления [8]. Символично, что первый «ракетный генерал» А. Д. Засядко был похоронен в Куряжском Спасо-Преображенском Монастыре, в котором А. С. Макаренко через 85 лет организовал детскую колонию.

Выпускник ХММИ 1937 года, один из руководителей Головного института по ракетной технике Минобороны СССР А. А. Витрук стал первым начальником Командно-измерительного комплекса (КИК). Он внес большой вклад в развитие научно-исследовательских и испытательных работ, в осуществление контроля и управления первыми ИСЗ, в организацию и совершенствование методов управления космическими аппаратами (КА); участвовал в организации работ по созданию Евпаторийского центра дальней космической связи. Важнейшая неотъемлемая часть космонавтики – КИК представлял собой сложную инфраструктуру быстро совершенствующихся систем наземных средств обеспечения полетов КА и боевых межконтинентальных ракет, включающую средства навигации, контроля движения и состояния, управления; телеметрические средства и др. КИК позволял получать данные о работе агрегатов и систем ракет и КА; формировать их орбиту; управлять полетом, бортовым комплексом аппаратуры; получать и обрабатывать всю необходимую информацию [8].

Запуски на Научно-исследовательском испытательном полигоне № 5 (крупнейший космодром Байконур) первых в мире межконтинентальных баллистических ракет и КА проводила инженерно-испытательная часть под командованием бывшего студента ХЭТИ О. И. Майского. Он стал лауреатом Государственной премии СССР (1977) за создание, испытание и организацию серийного производства межконтинентальной ракеты УР-100. Под руководством бывшего студента ХММИ, лауреата Государственной премии СССР, Главного конструктора комплекса средней дальности М. Ю. Цирульникова были созданы первые мощные энергетические установки на твердом топливе для ракетно-космических систем.

В 1950 г. Харьковский политехнический институт (ХПИ) был восстановлен на базе 4 харьковских вузов (в т. ч. ХММИ, ХЭТИ). Студентам специальности «Динамика и прочность машин» (ДПМ) на инженерно-физическом факультете читали курсы заслуженные деятели науки и техники УССР И. М. Бабаков и А. П. Филиппов, Н. И. Ахиезер, А. В. Дабагян [12].

В становление и развитие кафедры ДПМ весомый вклад внес академик АН УССР Л. А. Шубенко-Шубин, Главный конструктор Харьковского турбинного завода, лауреат Государственной премии СССР [9]. С 1933 по 1935 гг. он под руководством члена-корреспондента АН СССР И. Н. Вознесенского, ученика Д. С. Зернова, исследовал вопросы автоматического регулирования турбин в Энергетическом институте АН СССР. В дипломной работе

(1951 г.) С. И. Богомолова, в дальнейшем заслуженного деятеля науки и техники УССР, на тему «Исследование системы регулирования турбины ВР-25-1 методом нелинейной механики» (руководитель – доцент А. В. Дабагян) был сделан анализ переходных процессов с помощью электроинтегратора при использовании метода определения критериев устойчивости А. И. Лурье, разработанным на базе теории устойчивости движения А. М. Ляпунова. Специализация в области автоматического регулирования позволила выпускникам специальности ДПМ в дальнейшем стать специалистами в области теории управления [11].

Выпускник первого послевоенного набора кафедры ДПМ К. Алексеев в соавторстве с Г. Бебениным в 1964 году выпустил монографию «Управление космическими летательными аппаратами», ставшую одной из первых в мире, посвященной данной проблеме. В 1970 году Алексеевым в соавторстве с Бебениным и Ярошевским был выпущен труд под названием «Маневрирование космических летательных аппаратов». Сотрудничество с первым председателем Совета «Интеркосмос», вице-президентом АН СССР Б. Н. Петровым и одним из основоположников авиационного приборостроения В. А. Боднером выразилось в издании совместных научных трудов по теории управления в «Докладах АН СССР». Доктор технических наук К. Б. Алексеев работал профессором (как и выпускник ХММИ 1931 г., заслуженный деятель науки и техники РСФСР А. С. Вольмир) в Военно-воздушной инженерной академии имени Н. Е. Жуковского, где он, в частности, учил первых советских космонавтов на новом этапе развития пилотируемой астронавтики [8].

На базе специальных КБ Харьковских заводов имени Т. Г. Шевченко и «Коммунар» в 1959 году было организовано Особое конструкторское бюро (ОКБ-692, а/я 67, КБ «Электроприборостроения», ОАО «Хартрон») по системам управления межконтинентальных ракет. Харьковское научно-производственное объединение «Хартрон» стало одной из трех организаций в бывшем СССР и единственной в Украине, которые создавали системы управления для ракет и КА, включая бортовые ЭВМ [13, 14].

В 1964 году по инициативе Главного конструктора КБ «Электроприборостроения» В. Г. Сергеева и профессора кафедры ДПМ А. В. Дабагына в ХПИ на инженерно-физическом (И) факультете была открыта кафедра под названием «Автоматическое управление движением» (АУД), которой вверялась подготовка инженеров-механиков – исследователей по специальности «Динамика полета и управление движением ракет и космических аппаратов». В дальнейшем В. Г. Сергеев стал Дважды Героем Социалистического Труда, лауреатом Ленинской и Государственных премий СССР и Украины, академиком НАН Украины; А. В. Дабагян – заведующим кафедрами АУД и «Автоматизированные системы управления», заслуженным работником высшей школы Украины, членом международной федерации по автоматическому управлению и контролю от СССР, членом редакционной коллегии и редакционного совета международного журнала «Engineering & automation» [11].

В 1977 году кафедру АУД (с 2000 года – кафедра «Системы и процессы управления» (СПУ)) возглавил выпускник кафедры ДПИМ 1955 г., заслуженный работник народного образования Украины Е. Г. Голоскоков – известный специалист в области динамики и управления машин. Значительный вклад в становление и развитие кафедры внес Генеральный директор АО «Хартрон», заслуженный деятель науки и техники Украины Я. Е. Айзенберг, который был главным теоретиком четырех поколений систем управления ракетно-космической техники[11].

Дальнейшая математизация исследовательской деятельности привела к появлению новых теоретических представлений и методик анализа систем управления. КБ «Электроприборостроения» были созданы СУ для четырех поколений межконтинентальных баллистических ракет, трех поколений космических ракет-носителей, многих типов искусственных спутников земли и КА. Среди них межконтинентальные баллистические ракеты СС-7, СС-8, СС-9, СС-15, СС-18, СС-19, стратегический комплекс крылатых ракет «Метеорит», самая мощная в мире ракета-носитель «Энергия», ракета-носитель «Циклон», различные модули для орбитальных космических станций «Салют-6», «Салют-7», «Мир» и «МКС», более 150 спутников серии «Космос» и другие. Лауреатами Ленинских и Государственных премий СССР и Украины в области науки и техники стали выпускники ХПИ: Генеральные и Главные конструкторы СУ ракет Я. Е. Айзенберг, Г. А. Борзенко, А. И. Кривоносов, В. А. Уралов, В. Н. Горбенко, Г. И. Лящев; начальники отделов Б. М. Конорев, В. Ф. Шишков и др. В становлении «Хартрона», разработке, освоении в производстве и испытаниях приборов и аппаратуры СУ баллистических ракет стратегического назначения и космических аппаратов принимали участие выпускники ХПИ – Главные конструктора А. Н. Калногуз, Ю. М. Борушко, Б. Н. Гавранек и др. [13, 14].

Проведение работ по доводке рулевых двигателей для станции «Мир» с тягой в 2 и 10 кг; участие в создании уникальной системы ориентации КА в пространстве с привлечением разработанного датчика тягового потока, меньшего по весу по сравнению с применяемым ранее на 2 порядка, позволило в 1984 г. получить Государственную премию СССР коллективу, возглавляемому академиком АН СССР В. П. Мишиным (руководитель КБ «Энергия» после смерти С. П. Королева). От Украины были представлены бывшие студенты группы И-11: руководитель отдела моделирования тепловых и механических процессов Института проблем машиностроения АН УССР, профессор ХПИ Ю. М. Мацевитый и один из организаторов отраслевой лаборатории экспериментальных методов термopрочности элементов ГТД Д. Ф. Симбирский, а также Л. С. Григорьев [9].

Основоположник новой ветви средств выведения в космос конструкций – авиационно-космических транспортных систем Г. Е. Лозино-Лозинский являлся Генеральным конструктором НПО «Молния» – головного разработчика космоплана «Буран» и зенитных управляемых ракет-мишеней. Точная и

до сих пор единственная в мире автоматическая посадка «Бурана» с орбиты на аэродром в автоматическом режиме вошла в книгу рекордов Гиннеса. Кораблем управляла инерциальная система управления путем координации работы почти пятидесяти смежных систем. Лауреат Ленинской и двух Государственных премий СССР Г. Е. Лозино-Лозинский привлекал в 80-х годах ученых И факультета ХПИ к работам по «Бурану» [8-10].

Выпускник ХПИ, заслуженный машиностроитель Украины (1996) В. П. Чеховский стал лауреатом Государственной премии СССР (1989) за создание в КБ «Южное» твердотопливных ракетных комплексов. Для управления по крену на участке полета первой и второй ступеней использовались четыре аэродинамических руля, установленных на внешней поверхности головного обтекателя. Выпускник ХПИ, заместитель Генерального конструктора КБ «Южное», Генеральный директор ракетно-космического научно-исследовательского центра «Южкосмос» В. С. Фоменко стал лауреатом Государственной премии СССР за разработку систем управления и контроля агрегатов ракет и спутников [15].

Исследования по оптимизации элементов машин были начаты в Харькове в конце 60-х годов 20 столетия на стыке двух научных направлений: теории оптимального управления, которая развивалась в связи с потребностями космонавтики, и работ в области математического моделирования динамики и прочности высоконагруженных конструкций, проводившихся под руководством академика АН УССР А. П. Филиппова.

Задачи управления спектром собственных частот и статическими напряжениями лопаток и дисков вошли в цикл работ в области прочности энергетических машин, за который выпускники и профессора ХПИ А. П. Филиппов, С. И. Богомолов, А. В. Бурлаков, Ю. С. Воробьев, Е. Г. Голоскоков А. Н. Подгорный в 1984 г. были удостоены Государственной премии УССР [9]. За разработку метода оптимизации динамических систем с помощью функций Ляпунова выпускнику кафедры АУД Е. Е. Александрову Президиум Академии наук Высшей школы Украины присвоил звание лауреата премии Ярослава Мудрого в 1996 г.

Участие выпускников и профессоров ХПИ С. И. Богомолова, В. В. Бортового, В. Б. Гринева, Ю. Т. Костенко, В. М. Лукьяненко, Л. М. Любчика, Э. А. Симсона в разработке теоретических основ автоматизированного оптимального проектирования конструкций машин и приборов; создание на этой базе образцов турбокомпрессорной и космической техники было отмечено Государственной премией Украины в области науки и техники за 1997 г. [9]. Авторами были получены новые научные результаты по принципиальным вопросам теории управления – управлению системами с распределенными параметрами, теории инвариантности, теории робастного управления многомерными системами, методам решения обратных задач динамики.

Выпускники кафедры ДПМ внесли большой вклад в исследования в области моделирования, идентификации и управления теплофизическими про-

цессами. Заслуженный деятель науки и техники Украины Ю. М. Мацевитый стал в 2002 г. заведующим созданной кафедры «Газогидромеханики и теплообмена» инженерно-физического факультета Национального технического университета «ХПИ». Премией НАН Украины имени В. И. Толубинского был отмечен в 2005 г. академик НАН Украины Ю. М. Мацевитый за монографию «Обратные задачи теплопроводности» (в 2-х томах) [9].

Заслуженному деятелю науки и техники Украины Е. Е. Александрову как члену авторского коллектива была присуждена Государственная премия Украины 2000 г. за разработку теории и практики создания многоканальных систем управления транспортными объектами. За разработку уникальных автоматизированных тренажеров с видеосистемами и виртуальной системой управления танком для подготовки экипажей заведующий кафедрой автоматики и управления в технических системах ХПИ П. А. Качанов был удостоен Государственной премии Украины за 2004 г. [10].

В настоящее время под руководством академика–секретаря отделения механики и машиностроения Академии наук высшей школы Украины, декана И-факультета Д. В. Бреславского на кафедре СПУ проводятся исследования в области управления и динамики летательных аппаратов, моделирования их тепловых режимов и ресурса, навигации и навигационных систем. Основные научные результаты профессора В. Б. Успенского связаны с разработкой методов высокоточного управления ориентацией маневренных КА с помощью гирополовых избыточных систем [11 и др.].

Под руководством доцента А. Г. Андреева проводятся исследования в области управления механическими, технологическими, физическими, энергетическими параметрами сборки и разборки соединений с натягом сложных элементов конструкций при термовоздействии и др. [16 и др.]. Под руководством заведующего кафедрой сопротивления материалов В. Л. Хавина и заслуженного деятеля науки и техники Украины Э. А. Симсона изучаются задачи оптимального управления процессами в технологических системах высокоскоростной механообработки [17 и др.].

В статье рассмотрена эволюция основных научных достижений ученых и выпускников НТУ «ХПИ» в XIX – XXI ст. в области управления механическими системами: от паровых машин до уникальных космических аппаратов. Созданный учеными и выпускниками НТУ «ХПИ» научный потенциал помог Харькову стать ведущим центром создания систем управления для важнейших объектов ракетостроения и космонавтики; многих особо важных уникальных конструкторских разработок; наукоемкой и высокотехнологичной продукции оборонного и гражданского назначения, подготовки специалистов. Благодаря разностороннему творчеству ученых и выпускников НТУ «ХПИ» была создана передовая, признанная в мире школа систем управления, которая обеспечила решение задач управления объектами со сложными динамическими схемами. Ученые и выпускники НТУ «ХПИ» неоднократно отмечались государственными наградами и почетными званиями, Государст-

венными премиями в области науки и техники, премиями НАН Украины имени выдающихся ученых.

Список литературы: 1. *Бреславский Д. В.* Зарождение и развитие Харьковской школы теории управления / *Д. В. Бреславский, С. А. Горелова, А. А. Ларин* // *Вестник НТУ «ХПИ». Динамика и прочность машин.* – 2006. – Вып. 32. – С. 38-44. 2. *Александров Е. Е.* Деятельность основателя отечественной научной школы механики и машиностроения профессора В. Л. Кирпичева / *Е. Е. Александров, С. А. Назаренко, В. Л. Хавин* // *Механiка та машинобудування.* – 2012. – №2. – С. 230-249. 3. *Бреславский Д. В.* Иван Алексеевич Вышнеградский – основоположник теории автоматического управления (к 175-летию со дня рождения). / *Д. В. Бреславский, С. А. Горелова, А. А. Ларин* // *Вестник НТУ «ХПИ». Автоматика и приборостроение.* – 2007. – Вып. 10. – С. 3-12. 4. Академик Александр Михайлович Ляпунов: К 150-летию со дня рождения: Монография / *Л. Л. Товажнянский, К. В. Аврамов, Е. Е. Александров* и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 288 с. 5. *Назаренко С. А.* Основные работы профессора Д. С. Зернова / *С. А. Назаренко, В. Л. Хавин, Н. В. Непран, Л. П. Семененко* // *Вісник НТУ «ХПІ». Машинознавство та САПР.* – 2011. – № 51. – С. 16–23. 6. *Зернов Д. С.* Паровые машины. (Теория. Термодинамика. Регуляторы). / *Д. С. Зернов.* – М.: ИМТУ, 1894. 7. История Харьковского технологического института в лицах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://library.kpi.kharkov.ua/PREPODAVATELY/PR_%D0%9B.html. 8. *Назаренко С. А.* Деятельность воспитанников Харьковского политехнического института в области освоения космического пространства / *С. А. Назаренко* // *Журнал «Universitates = Университеты: Наука и просвещение».* – 2013. – № 2. – С. 64–74. 9. *Андреев А. Г.* Основные работы ученых ХПИ в области анализа термонапряженных конструкций / *А. Г. Андреев, С. А. Назаренко* // *Вісник НТУ «ХПІ». Динаміка і міцність машин.* – 2013. – № 63 (1036). – С. 3-11. 10. Еліта держави – видатні випускники Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» / упоряд. *Л. Л. Товажнянський, Ю. Д. Сакара, А. В. Бистриченко* та ін. – Х. : НТУ «ХПІ», 2010. – 188 с. 11. Динамика полета и управление: 50 лет в ХПИ. / *Д. В. Бреславский, В. Б. Успенский, А. А. Ларин* и др. Под общей редакцией *Д. В. Бреславского* – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – 488 с. 12. *Морачковский О. К.* Инфиз: очерки истории творчества / *О. К. Морачковский.* – Х.: ЭнергоКлуб Украины, 2005. – 372 с. 13. Хартрон. Системы управления в космосе и на земле / *В. А. Сирук, С. А. Русаков.* – Х.: Хартрон, 2011. – 56 с. 14. НПП «Хартрон-Аркас». Хроника дат и событий 1959 – 2012 гг. / Сост. *В. И. Котович.* Под ред. *Ю. М. Златкина.* – Х.: Хартрон-Аркас, 2012. – 260 с. 15. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное» / Под ред. *С. Н. Конохова.* – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2004. – 260 с. 16. *Андреев А. Г.* Оптимизация температуры нагревания при сборке соединений с натягом / *А. Г. Андреев, А. В. Щепкин* // *Вестник машиностроения.* – 2013. – № 3. – С. 34-37. 17. *Симсон Э. А.* Методы анализа и оптимизации нагруженных элементов технологических систем / *Э. А. Симсон, С. А. Назаренко, И. Д. Прево* // *Вісник НТУ «ХПІ». Технології в машинобудуванні.* – 2014. – № 42 (1085). – С. 187-192.

Bibliography (transliterated): 1. *Breslavskij D. V.* Zarozhdenie i razvitie Har'kovskoj shkoly teorii upravleniya. D. V. Breslavskij, S. A. Gorelova, A. A. Larin. Vestnik NTU «HPI». Dinamika i prochnost' mashin. 2006. Vyp. 32. 38-44. Print. 2. *Aleksandrov E. E.* Deyatel'nost' osnovatelya otechestvennoj nauchnoj shkoly mehaniki i mashinostroeniya professora V. L. Kirpicheva. E. E. Aleksandrov, S. A. Nazarenko, V. L. Havin. Mehanika ta mashinobuduvannya. 2012. №2. 230-249. Print. 3. *Breslavskij D. V.* Ivan Alekseevich Vyshnegradskij – osnovopolozhnik teorii avtomaticheskogo upravleniya (k 175-letiyu so dnya rozhdeniya). D. V. Breslavskij, S. A. Gorelova, A. A. Larin. Vestnik NTU «HPI». Avtomatika i priborostroenie. 2007. Vyp. 10. 3-12. Print. 4. *Akademik Aleksandr Mihajlovich Lyapunov: K 150-letiyu so dnya rozhdeniya: Monografiya / L. L. Tovazhnyanskij, K. V. Avramov, E. E. Aleksandrov* i dr. Kharkiv: NTU «HPI», 2007. 288 Print. 5. *Nazarenko S. A.* Osnovnye raboty professora D. S. Zernova. S. A. Nazarenko, V. L. Havin, N. V. Nepran, L. P. Semenenko. Visnik NTU «HPI». Mashinознаvstvo ta SAPR. 2011. № 51. 16-23. Print. 6. *Zernov D. S.* Parovye mashiny. (Teoriya. Termodinamika. Regulatory). D. S. Zernov. M.: IMTU, 1894. Print. 7. *Istoriya Har'kovskogo tehnologicheskogo instituta v lichah.* http://library.kpi.kharkov.ua/PREPODAVATELY/PR_%D0%9B.html. 8. *Nazarenko S. A.* Deyatel'nost' vospitannikov Har'kovskogo

politehnicheskogo instituta v oblasti osvoeniya kosmicheskogo prostranstva / S. A. Nazarenko. Zhurnal «Universitates =University: Nauka i prosveschenie». 2013. № 2. 64–74. Print. **9.** Andreev A. G. Osnovnye raboty uchenyh HPI v oblasti analiza termonapryazhennykh konstrukcij. A. G. Andreev, S. A. Nazarenko. Visnik NTU «HPI». Dinamika i micnist' mashin. 2013. № 63 (1036). 3-11. Print. **10.** Elita derzhavi – vidatni vipuskniki Nacional'nogo tehnicnogo universitetu «Harkivs'kij politehnicnij institut». uporyad. L. L. Tovazhnyans'kij, Yu. D. Sakara, A. V. Bistrichenko ta in. Kharkiv: NTU «HPI», 2010. 188 Print. **11.** Dinamika poleta i upravlenie: 50 let v HPI. D. V. Breslavskij, V. B. Uspenskij, A. A. Larin i dr. Pod obschej redakciej D. V. Breslavskogo. Kharkiv: NTU «HPI», 2014. 488. Print. **12.** Morachkovskij O. K. Infiz: ocherki istorii tvorchestva / O. K. Morachkovskij. Kharkiv: EnergoKlub Ukrainy, 2005. 372 Print. **13.** Hartron. Sistemy upravleniya v kosmose i na zemle. V. A. Siruk, S. A. Rusakov. Kharkiv: Hartron, 2011. 56 Print. **14.** NPP «Hartron-Arkos». Hronika dat i sobytij 1959 – 2012 gg. Sost. V. I. Kotovich. Pod red. Yu. M. Zlatkina. Kharkiv: Hartron-Arkos, 2012. 260 Print. **15.** Rakety i kosmicheskie apparaty konstruktorskogo byuro «Yuzhnoe». Pod red. S. N. Konyuhova. Dnepropetrovsk: ART-PRESS, 2004. 260 Print. **16.** Andreev A. G. Optimizaciya temperatury nagrevaniya pri sborke soedinenij s natyagom. A. G. Andreev, A. V. Schepkin. Vestnik mashinostroeniya. 2013. № 3. 34-37 Print. **17.** Simson E. A. Metody analiza i optimizacii nagruzhennykh elementov tehnologicheskikh sistem. E. A. Simson, S. A. Nazarenko, I. D. Prevo. Visnik NTU «HPI». Tehnologii v mashinobuduvanni. 2014. № 42 (1085). 187-192 Print.

Поступила (received) 24.10.2014

УДК 534/143

А.Е.БОЖКО, д-р техн. наук, профессор, член-корр. НАН Украины, ИПМаш НАН Украины, Харьков;
Е.М. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доцент, ХНАДУ «ХАДИ», Харьков;
З.А.ИВАНОВА, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент, ИПМаш НАН Украины, Харьков;
К.Б.МЯГКОХЛЕБ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИПМаш НАН Украины, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МОДУЛЯТОРОВ ВИБРАЦИЙ

В данной работе осуществляется попытка более детально определить энергетические показатели электромагнитных вибровозбудителей, находящихся широкое применение в технологических процессах уплотнения сред, для передвижения в конвейерах материалов, в испытательных стендах и т.д. Энергетические показатели определяются с учетом вибрационного движения массы и потерь, возникающих в электрической и механической частях. Эти результаты необходимы для оптимального выбора управляющего устройства по энергетическим показателям.

Ключевые слова:якорь, воздушный зазор, демпфирование, жесткость, колебательная система.

© А.Е.Божко, Е.М. Иванов, З.А.Иванова, К.Б.Мягкохлеб, 2014