

тронный ресурс] / Дмитрий Зубов // Человек без границ. — 2007. — № 4. — Режим доступа: http://www.manwb.ru/articles/persons/great-europ/mathematics_prince/. **12.** Поляхов Н.Н., Поляхова Е.Н., Максимов В.В. Гидромеханика Леонарда Эйлера: исторический экскурс [Электронный ресурс] // Сб. науч. тр. РАН. — 2008. — №2. — Режим доступа: http://www.nsgf.narod.ru/trudu_6/txt/2_nomer.pdf. **13.** Действительные члены РАН за всю историю существования [Электронный ресурс] // Википедия. — Режим доступа: <http://ru-wikipedia.org/wiki/>. **14.** Астрономы [Электронный ресурс] // Биограф. справочник. — Режим доступа: <http://slovari.yandex.ru/dict/astronomy/453.htm>. **15.** Копелевич Ю.Х. Материалы к биографии Леонарда Эйлера // Историко-математические исследования. Вып. X / под ред. Г.Ф. Рыбкина и А.П. Юшкевича. — Москва: Гос. Изд-во техн.-теорет. лит., 1957. — С. 52. **16.** Юшкевич А.П. История математики в России до 1917 года / А.П. Юшкевич. — Москва, 1968. — С. 113. **17.** Леонард Эйлер — великий математик [Электронный ресурс] // Знание—сила. — Режим доступа: http://znaniya-sila.narod.ru/people/004_00.htm.

Bibliography (transliterated): **1.** *Jenciklopedija «Krugosvet».* "Jejler Leonard." Web. 1 June 2015. <http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/matematika/ELER_LEONARD.html>. **2.** Radovskij, M. I. *Boris Semenovich Jakobi: biogr. ocherk.* Moscow, Leningrad: Gos. jenerg. izd-vo, 1953. Print. **3.** *Funeral-SPB.Ru.* "Jacobi Moritz Hermann (1801–1874)." Web. 1 June 2015. <<http://funeralspb.narod.ru/necropols/smolen-skoel/tombs/yakobi/yakobi.html>>. **4.** *Boris Semenovich Jakobi: bibliograf. ukaz.* Sost. M. G. Novljanskaja. Ed. K. I. Shafranovskij. Vstup. st. T. P. Kravca. Moscow, Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1953. Print. **5.** Chernjak, A. Ja. *Istorija tehnicheckoj knigi. 2nd. ed., pererab.* Moscow: Kniga, 1981. Print. **6.** *Leonard Jejler: 1707–1783: sb. statej i materialov v chesti 250-letija so dnja rozhenija, predstavlennye Akademiej nauk SSSR.* Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1958. Print. **7.** *Biogr. jenc.* "Fuss Nikolaj." Web. 2 June 2015. <http://www.biografija.ru/show_bio.aspx?id=130803>. **8.** Tile, R. *Leonard Jejler.* Per. s nem. N. I. Kovancova. Kyiv: Vishha shkola, 1983. Print. **9.** Lysenko, V. I. "Nikolaj Ivanovich Fuss: 1755–1826." Moscow: Nauka, 1975. 13–15. Print. **10.** Ljudi. "Pavel Nikolaevich Fuss." Web. 2 June 2015. <http://www.peoples.ru/science/mathematics/pavel_fuss/>. **11.** Zubov, D. "Princ matematikov." *Chelovek bez granic.* No. 4. 2007. Web. 2 June 2015. <http://www.manwb.ru/articles/persons/great-europ/mathematics_prince/>. **12.** Poljahov, N. N., E. N. Poljahova and V. V. Maksimov. "Gidromehanika Leonarda Jejlera: istoricheckij jekskurs." *Sb. nauch. tr. RAN.* No. 2. 2008. Web. 3 June 2015. <http://www.nsgf.narod.ru/trudu_6/txt/2_nomer.pdf>. **13.** *Vikipedija.* "Dejstvitel'nye chleny RAN za vsju istoriju sushhestvovanija." Web. 2 June 2015. <<http://ru.wikipedia.org/wiki/>>. **14.** *Biogr. spravocchnik.* "Astronomij." Web. 3 June 2015. <<http://slovari.yandex.ru/dict/astronomy/453.htm>>. **15.** Kopelevich, Ju. H. *Materialy k biografii Leonarda Jejlera. Istoriko-matematicheskie issledovanija.* Vyp. X. Ed. G. F. Rybkin, and A. P. Jushkevich. Moscow: Gos. Izd-vo tehn.-teoret. lit., 1957. Print. **16.** Jushkevich, A. P. *Istorija matematiki v Rossii do 1917 goda.* Moscow, 1968. Print. **17.** *Znanie—sila.* "Leonard Jejler — veli-kij matematik." Web. 3 June 2015. <http://znaniya-sila.narod.ru/people/004_00.htm>.

Поступила (received) 10.06.2015

УДК 539.3

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

КЛЮЧЕВЫЕ РАБОТЫ УЧЕНЫХ НТУ «ХПИ» В ОБЛАСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ТЕХНИКЕ

Статья посвящена рассмотрению эволюции в 19 – 21 столетиях основных научно – педагогических достижений ученых и выпускников НТУ «ХПИ» в области математического моделирования: от паровых машин до космических аппаратов. Начало украинской науки в области математического моделирования в технике и технологиях связано с НТУ «ХПИ». Здесь работали или учились В. Л. Кирпичев, А. М. Ляпунов, В. А. Стеклов, Л. Д. Ландау, А. Н. Подгорный, Ю. М.

© С. А. Назаренко, С. И. Марусенко, 2015

Мацевитый и др. Ученые НТУ «ХПИ» создавали космическую и турбокомпрессорную технику, ЭВМ и термоядерные установки, и т.д. Показано, как математизация исследовательской деятельности привела к появлению новых методик анализа и синтеза в технике и технологиях.

Ключевые слова: механика, техника, технология, динамика, математическая модель.

Введение. Многие поколения выдающихся ученых и выпускников НТУ «ХПИ» вносили свой вклад в становление и развитие математического моделирования в технике. Рассмотрим эволюцию в XIX – XXI ст. основных научных достижений ученых и выпускников института в области математического моделирования: от паровых машин до космических аппаратов.

Основные работы ученых и выпускников НТУ «ХПИ» в области аналогового и математического моделирования. Зарождение моделирования в науке часто связывают с появлением понятия *подобие*, использовавшимся для решения задач строительной механики. *В. Л. Кирпичев* первым из ученых в Российской империи начал разработку теории подобия физических процессов и вывел условия подобия при упругих явлениях. Теория подобия является важной составляющей аналогового моделирования.

Первый директор Харьковского практического технологического института (ХПТИ) Кирпичев добивался замены способов проектирования, основанных на приложении эмпирических формул, на методические, построенные на теоретических расчетах. Заместитель (товарищ) председателя Харьковского математического общества (ХМО) привлек к чтению в ХПТИ курса аналитической механики начинающего приват-доцента прикладной математики *А.М. Ляпунова*. Несомненно, что Кирпичев, ближайший соратник основоположника теории автоматического регулирования, *академика И. А. Вышнеградского*, повлиял на направление научных исследований Ляпунова. Докторская диссертация всемирно известного ученого Ляпунова "Общая задача об устойчивости движения", изданная в Харькове в 1892 г. на средства ХМО, явилась источником многих научных направлений. Выпускник ХТИ 1908 г. *Г. А. Ботезат* в Сорбонне защитил первую в области авиации докторскую диссертацию по исследованию устойчивости аэроплана. Он стал одним из первых экспертов Национального консультативного комитета по аэронавтике США и читал лекции в Массачусетском технологическом институте.

С 1893 по 1905 г. курсы лекций по аналитической механике в Харьковском технологическом институте (ХТИ) вел председатель ХМО *В. А. Стеклов*. В 1901 г. он получил степень доктора прикладной математики после защиты диссертации "Общие методы решения основных задач математической физики". В 1921 г. Стеклов стал первым директором физико-математического института. Он являлся первым вице-президентом Академии наук (АН) СССР.

В ХПТИ несколько лет учил математике *Д. А. Граве*, в дальнейшем первый математик, ставший академиком АН Украины; председатель комиссии прикладной математики АН УССР; почётный академик АН СССР; основатель и первый директор института математики АН УССР, инициатор организации отделения технических наук в системе АН УССР. Первая научная работа начинающего преподавателя ХПТИ, в дальнейшем ректора ХТИ *П. П. Копняева* была опубликована в № 11–12 журнала «Электричество» за 1898 год под названием «Аналогия между явлениями электричества и гидравлики».

В Харькове в первом томе научно-технического журнала «Известия Южно-Русского общества технологов» была опубликована в 1897 году работа В.Л. Кирпичева «Заметка о геометрически подобных машинах» [1]. В монографии В.Л. Кирпичева "Беседы о механике" (6 изданий, последнее в 2008 году) есть раздел "Теорема о подобии в механике", где подобие процессов рассматривается, в частности, применительно к движению жидкости в трубах и сопротивлению твердого тела в потоке жидкости.

Математизация исследовательской деятельности была плодотворной для развития математики и приводила к появлению новых теоретических положений и методик анализа механических систем [1]. Директор ХТИ (1898-1902) *Д. С. Зернов* в курсах лекций по паровым машинам рассматривал также проблемы регулирования, чем инициировал симбиоз механики машин, термодинамики и теории управления. В 1901 г. Зернов пригласил проводить в ХТИ лабораторные занятия по сопротивлению материалов своего и *Н.Е. Жуковского* ученика в Императорском Московском техническом училище *Г.Ф. Проскура*, в дальнейшем члена Президиума и председателя отделения технических наук АН УССР. Профессор ХТИ Проскура разрабатывал теорию подобия в гидроаэродинамике и закон динамического подобия турбомашин.

Выпускник и преподаватель ХТИ с 1922 г., член-корреспондент АН УССР (1939) *В.М. Майзель* применял теорию подобия при исследовании и моделировании задач прочности, устойчивости, колебаний, процессов в гидромашинах. *А.Н. Боголюбов*, ученик Майзеля, стал членом-корреспондентом АН УССР, заслуженным деятелем науки и техники Украины, лауреатом премии им. Н.М. Крылова АН Украины и международной премии им. А. Коюре.

На базе Харьковского вуза в 1930 г. было организовано 8 самостоятельных специализированных институтов для подготовки инженерно-технических кадров, в т. ч. механико-машиностроительный (ХММИ), электротехнический (ХЭТИ), химико-технологический (ХХТИ). *Л. Д. Ландау* заведовал кафедрой теоретической физики ХММИ в 1932 – 1937 гг.. Тогда он изобрел систему подготовки первокурсников теоретиков (*теорминимум Ландау*) путем сдачи ими серии специальных экзаменов по математике и физике.

Первыми были два экзамена по спецматематике, являвшейся, как считал член ХМО Ландау, тем фундаментом, без которого невозможно освоить теоретическую физику. Вторым сдал «теорминимум» выпускник ХММИ *Е.М. Лифшиц*. Ландау и преподаватель ХММИ, зав. кафедрой ХХТИ (1933 – 1939) Лифшиц издали в 1935 г. «Руководство по теоретической физике» объемом около 300 страниц. В 1937 г. они завершили первый том «Курса теоретической физики», который в 1938 г. был издан в СССР и Англии. Всемирно известный многотомный «Курс...» (объемом 5300 страниц) членов Лондонского Королевского общества Ландау и Лифшица переиздан на двадцати языках.

В разработке атомной и водородной бомб важнейшее значение имело математическое моделирование в задачах определения КПД. За участие в сложнейших расчетах академики АН СССР Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц были удостоены Государственных премий СССР.

Зав. кафедрами ХТИ и ХХТИ (1926 – 1944) *П. П. Будников* был председателем отделения физико-химических и математических наук АН УССР с 1941 по 1944 год. Профессор ХММИ и ХЭТИ (1932 – 1941) *А.И. Лейпунский*

в эвакуации руководил объединенным институтом физики и математики АН УССР. В 1949 году ХПИ был воссоздан на основе ХММИ, ХЭТИ, ХХТИ.

Усложнение математического аппарата происходило параллельно с развитием теорий реальных процессов в различных областях естествознания. Выпускник ХЭТИ, лауреат Государственной премии СССР (1951) *Б.Я. Коган* был одним из первых, кто начал научную разработку теории и методов математического моделирования с применением аналоговых и гибридных вычислительных систем для исследования сложных динамических систем.

Появление ЭВМ оказало колоссальное воздействие на развитие математических моделей в плане их усложнения с целью все большей адекватности реальным процессам. В начале 1950-х годов под руководством выпускника (1936) ХЭТИ *Н.А. Явлинского* в ЛИПАН была создана первая в СССР ЭВМ последовательного действия. Лауреат Государственных премий СССР в области науки и техники *Н.А. Явлинский* был одним из создателей первых термоядерных установок и проводил первые работы по компьютерному моделированию процессов в плазме «ТОКАМАКа» – количественные расчеты мощности потерь с линейчатым излучением спектральных линий примесей.

В 1972 году был создан Институт проблем машиностроения АН УССР, первым директором которого стал выпускник (1956) и профессор ХПИ *А.Н. Подгорный*, в дальнейшем академик Национальной АН Украины, заслуженный деятель науки и техники Украины. Главным направлением научной деятельности института было развитие методов и технологий проектирования в машиностроении на основе современных достижений в области математики и вычислительной техники. Заведующие кафедрами ХПИ, академики НАН Украины, заслуженные деятели науки и техники Украины *В.Л. Рвачев* и *Ю.М. Мацевицкий* были удостоены Государственных премий Украины за работы в области математического моделирования физических процессов.

Выпускник (1930) ХММИ, основоположник авиационно-космических транспортных систем *Г. Е. Лозино-Лозинский* являлся Генеральным конструктором НПО «Молния» – головного разработчика космоплана «Буран» и зенитных управляемых ракет-мишеней. Лауреат Государственных премий СССР привлекал в 80-х годах ученых ХПИ к работам по «Бурану».

Лауреатами Государственных премий СССР и Украины в области науки и техники стали выпускники ХПИ: Генеральные и Главные конструктора систем управления ракет и космических аппаратов – *Я.Е. Айзенберг*, *А.И. Кривонос*, *В.А. Уралов*, *Г.А. Борзенко*, *Г.И. Ляцев*, *В.Н. Горбенко*; начальники отделов «Хартрона» – *Б.М. Коноров*, *В.Ф. Шишков* и др..

Со времен Кирпичева математические структуры зарождались и развивались в Харькове под мощным влиянием импульсов, исходящих из проблем механики и физики. Выпускники ХПИ, зам. директора по научной работе ФТИНТ *Л.А. Пастур* и *Е.Я. Хрусов* почти 30 лет представляли Северо-Восточный научный центр в руководстве отделения математики НАН Украины. Академик Пастур был учеником зав. кафедрой ХПИ, зав. отделом ФТИНТ *И. М. Глазмана* и выпускника (1938) ХММИ; академика АН УССР, США и СССР *И.М. Лифшица*. Председатель Фонда фундаментальных исследований Украины Пастур удостоен Государственной премии УССР 1985 года за труд «Введение в теорию неупорядоченных систем».

Первой поставленной Хруслову научной задачей была оптимизация модели лопатки профессора ХПИ, академика АН УССР, Главного конструктора Харьковского завода *Л.А. Шубенко–Шубина*, установленной на паровой турбине. Академик Хруслов удостоен Государственной премии УССР за цикл работ «Крайові задачі математичної фізики в областях з дрібнозернистою межею».

Государственной премией Украины в области науки и техники за 1997 год было отмечено 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 систем автоматизированного оптимального проектирования конструкций машин и приборов, создание на этой базе турбокомпрессорной и космической техники.

Усложнение конструктивных форм, интенсификация рабочих процессов, использование новых материалов и технологий обуславливают потребность в создании все более совершенных мультифизических математических моделей в технике. При решении задач необходимо учитывать различные виды нелинейностей (физических, геометрических и контактных; «наследственных» (генетических), связанных с учетом прогрессивного повреждения и разрушения материалов; связанных с появляющимися на одном технологическом этапе полями и передающимися на последующие, и прочих). Возможности виртуального тестирования (компьютерного моделирования) становятся все более универсальными и позволяют значительно сократить трудоемкие и дорогостоящие этапы натурных исследований, связанных с изготовлением опытных образцов, и перейти к более дешевой, оперативной, надежной и безопасной технологии апробации конструктивных решений с использованием цифровых макетов-прототипов (Digital Prototyping, Digital Mock-Up).

В настоящее время в НТУ «ХПИ» разрабатывают эффективные математические модели, обладающие высоким уровнем адекватности реальным объектам и физико-механическим процессам, реализующие решение многомерных исследовательских и промышленных задач, описываемых, как правило, нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных в пространственных областях сложной формы [2].

Увеличение эффективности вычислений (за счет сетевых Internet-технологий, многопроцессорности и параллелизации), повышение производительности компьютеров содействовало интеграции соответствующих вычислительных технологий для симуляции и инженерного анализа реалистичных виртуальных испытаний в технике и технологиях (Simulation & Analysis).

Математическое моделирование является сейчас основной специальной учебной дисциплиной на всех факультетах НТУ «ХПИ».

Выводы. Традиции познания и научной деятельности, заложенные выдающимися учеными-педагогами, продолжают и находят воплощение в перспективных направлениях современной науки и новейших технологиях. В статье показано, как математизация исследовательской деятельности привела к появлению новых методик анализа и синтеза в технике и технологиях.

Список литературы: 1. *Александров Е.Е., Назаренко С.А., Хавин В.Л.* Деятельность основателя отечественной научной школы механики и машиностроения профессора В.Л. Кирпичева // Ме-

ханіка та машинобудування. – 2012. – №2. – С. 230 – 249. 2. Симсон Э.А., Назаренко С.А. Математические модели элементов машин при воздействии физических полей и внешней среды // Механика та машинобудування. – 2009. – №1. – С. 69 – 77.

Bibliography (transliterated): 1. Aleksandrov, E. E., S. A. Nazarenko and V. L. Havin. "Dejatel'nost' osnovatelja otechestvennoj nauchnoj shkoly mehaniki i mashinostroeniya professora V. L. Kirpicheva." *Mehanika ta mashinobuduvannja*. No. 2. 2012. 230–249. Print. 2. Simson, E. A., and S. A. Nazarenko. "Matematicheskie modeli elementov mashin pri vozdeystvii fizicheskikh polej i vneshnej sredy." *Mehanika ta mashinobuduvannja*. No. 1. 2009. 69–77. Print.

Поступила (received) 15.06.2015

УДК 539

Л.В. АВТОНОМОВА, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
С.В. БОНДАРЬ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
А.В. СТЕПУК, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРА ПЛАСТИНЫ ПОЛУСФЕРИЧЕСКИМ ИНДЕНТОРОМ

Рассмотрены задачи численного моделирования деформирования круглой пластины и пакета, который состоит из двух внешних стальных пластин и средней титановой пластины. Пластины подвергаются ударному воздействию индентора с полусферической формой рабочей части. При решении нестационарной связанной термовязкопластической контактной задачи в трехмерной постановке учитываются: трение в контактных зонах и зависимость предела текучести материала от скоростей деформаций и температуры. Динамическая контактная задача численно реализована методом конечных элементов с помощью пакета ANSYS. Выполнено сравнение параметров напряженно-деформированного состояния пластины и пакета пластин для двух моделей определяющих соотношений: Купера-Симонда и нейронной сети. Показано, что различия в полученных величинах перемещений и деформаций не превышают 15%.

Ключевые слова: математическое моделирование, контактная задача, удар, вязкопластическое деформирование, конечный элемент.

Описание проблемы. При высокоскоростном деформировании пластин ударником необходимо учитывать появление больших пластических деформаций, изменение прочностных характеристик материала, зарождение и распространение повреждений, нагрев, процессы появления вторичной пластичности и релаксацию напряжений, волновые эффекты. На характер деформирования оказывают влияние геометрия и форма ударника, величина скорости ударника, конструктивные особенности пластин. Для комплексного решения таких задач необходимо применение совокупности различных нелинейных моделей, учитывающих физические особенности процесса [1 – 6]. Это, в частности, модели, позволяющие корректно описать динамическое изменение свойств материала в процессе высокоскоростного деформирования в зависимости от скорости деформаций и температуры, что дает возможность верифицировать численные решения по данным эксперимента. Часто даже применения современных численных методов решения краевых динамических задач с помощью вычислительных программных комплексов не позволяют в полной мере и без существенных допущений решать такие задачи. Так, луч-