

5. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения. СПб: Лань, 2010. 400 с.
6. Иванов С.Е. Алгоритмическая реализация метода исследования нелинейных динамических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 4 (80). С. 90–92.
7. Матросов В.М., Румянцев В.В., Карапетян А.В. Нелинейная механика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 432 с.
8. Мельников В.Г., Мельников Г.И., Иванов С.Е. Компьютерные технологии в механике приборных систем: Учеб. пособие / Под ред. В.Г. Мельникова. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. 127 с.
9. Мельников Г.И. Динамика нелинейных механических и электромеханических систем. Л.: Машиностроение, 1975. 198 с.
10. Иванов С.Е. Определение установившихся режимов работы виброзащитной системы с двумя степенями свободы // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2010. № 4 (68). С. 44–46.
11. Каток А.Б., Хасселблат Б. Введение в теорию динамических систем с обзором последних достижений. М.: МЦНМО, 2005. 464 с.
12. Hamming R.W. Numerical methods for scientists and engineers. NY: Dover, 1986. 721 p.
13. Мельников В.Г. Энергетический метод параметрической идентификации тензоров инерции тел // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2010. № 1 (65). С. 59–63.
14. Мельников В.Г. Преобразование динамических многочленных систем с применением аппроксимации Чебышева // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 4 (80). С. 85–89.
15. Melnikov V.G. Chebyshev economization in Poincare-Dulac transformations of nonlinear systems // Nonlinear Analysis. 2005. V. 63. N 5–7. P. e1351–e1355.

Иванов Сергей Евгеньевич – кандидат физ.-мат. наук, доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, sivanov@mail.ifmo.ru

Мельников Геннадий Иванович – доктор физ.-мат. наук, профессор, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, melnikov@mail.ifmo.ru

Sergei Ivanov PhD, Associate professor, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, sivanov@mail.ifmo.ru

Gennady Melnikov D.Sc., Professor, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, melnikov@mail.ifmo.ru

УДК 629.78

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ В ОБЛАСТИ МЕХАТРОНИКИ

Е.В. Шалобаев^а, Р.-Т. Толочка^б

^а Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, shalobaev47@mail.ru

^б Каунасский технологический университет, Каунас, Литва, tadas.tolocka@ktu.lt.

Проанализировано современное состояние базовых терминов в области мехатроники, которое зафиксировано в документах комиссии по стандартизации и терминологии Международной федерации по теории машин и механизмов. Указаны новые термины, которые были введены в научный оборот с начала XXI века. К таким терминам относятся «мехатронизированный объект», «мехатронный класс», объединяющий «мехатронные» и «мехатронизированные» объекты. Дано понятие об «уровневом подходе» к мехатронике, который позволяет увязать между собой собственно мехатронику, микросистемную технику и наноиндустрию. Изложены некоторые соображения о применении термина «мехатронный комплекс», которые стали особенно актуальным в связи с появлением орбитальных группировок малых космических аппаратов.

Внесены коррективы по таким критериям оценки мехатронных объектов, как ремонтпригодность и долговечность, а также по использованию термина «мехатронные модули». Поставлены вопросы о расширении понимания мехатроники от компьютерного управления движением до управления состоянием объекта, о терминах «авионика» и «автоника», о взаимосвязи мехатроники и логистики, которую стали относить к предметной области мехатроники.

Ключевые слова: мехатроника, мехатронные комплексы, модули и узлы, орбитальная группировка, малые космические аппараты, ремонтпригодность, долговечность, уровневый подход, мехатронизированные объекты.

MODERN STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE BASIC CONCEPTS IN THE FIELD OF MECHATRONICS

E. Shalobaev^c, R.-T. Tolochka^d

^c Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, vshalobaev47@mail.ru

^d Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, tadas.tolocka@ktu.lt.

The paper deals with modern state analysis of the basic terms in the field of mechatronics documented by the Commission on standardization and terminology of the International Federation for the Theory of Machines and Mechanisms. New terms introduced into scientific circulation since the beginning of the 21st century are indicated. They are: “mechatronized object”, “mechatronic class”, combined “mechatronic” and “mechatronized” objects. The notion of “tiered approach” to mechatronics is given, which makes it possible to connect the mechatronics proper, micro-system technique and nanotechnologies. Some considerations on the use of “mechatronic complex” term are stated especially topical in the implementation process for the groups of small spacecrafts. That is why the term “mechatronic complex” is filled with real content. Such criteria, characteristic of mechatronic objects, as maintainability and durability are amended. Corrections to the “mechatronic modules” term application are proposed. The question is raised on the necessity to expand the mechatronics meaning from the movement computer management to object state control and to define such terms as “avionics” and “autonics”. Moreover, interconnection between mechatronics and logistics, which is now referred to the subject field of mechatronics, must be defined.

Keywords: mechatronics, mechatronic complexes, group, small spacecrafts, maintainability, durability, mechatronic modules and units.

Введение

Мехатроника, как и всякая наука, развивается, и со временем появляется необходимость вводить некоторые коррективы, учитывая современное развитие техники. В этом году исполняется 25 лет со дня издания на русском языке монографии японских ученых «Мехатроника» [1] – первого издания по данной тематике. Вполне понятно, что за это время произошли серьезные изменения в определении взаимосвязи мехатроники с рядом смежных научно-технических направлений, в установлении базовой терминологии, в наполнении предложенных терминов реальным содержанием, во введении в научный оборот новых терминов и понятий.

В своей книге [2], выдержавшей два издания, проф. Ю.В. Подураев высказал мнение, что «до сих пор мехатроника является уделом практиков», но «потребность в теоретическом инструментарии, который имеет эвристическую ценность и позволяет вести целенаправленный поиск новых мехатронных решений, сегодня весьма велика». Именно поэтому в этой же работе появились параграфы «Понятия о мехатронике» и «Определения и терминология мехатроники».

Таким образом, пришло понимание необходимости и даже потребности теоретического инструментария, что реализовалось в ряде работ, касающихся разных аспектов теоретических основ мехатроники [3–17]. Вместе с тем в вопросах терминологии необходимо четко определить взаимосвязь между мехатроникой и пограничными или смежными научно-техническими направлениями, такими как кибернетика, робототехника, микро- и наносистемная техника. Существуют проблемы в определении взаимосвязи между мехатроникой и авионикой, автоникой, логистикой. С другой стороны, введены в научный оборот и успешно используются в публикациях термины и понятия, которые необходимо зафиксировать в нормативной литературе по мехатронике. В настоящей статье авторами, членами технического комитета по стандартизации и терминологии Международной федерации по теории машин и механизмов (IFToMM), делается попытка ответа на указанные вопросы.

Связь мехатроники с другими научно-техническими направлениями

Покажем, как связана мехатроника с другими научно-техническими направлениями.

Взаимосвязь мехатроники и робототехники. «Колыбелью» мехатроники принято считать станкостроение [1, 3, 18], хотя с этим утверждением спорят специалисты из таких областей, как ракетно-космическая, военная техника и робототехника.

Например, известный специалист в области робототехники проф. А.С. Ющенко (МГТУ им. Н.Э. Баумана) [19] еще в 1990-е гг. в беседе с одним из авторов данной публикации утверждал, что «мехатронику придумали робототехники, чтобы не остаться без работы». Действительно, связь между этими научно-техническими направлениями стала проявляться в следующих фактах. В 1996 г. вышел первый сборник трудов «Робототехника и мехатроника» [20], который, хотя и не стал периодическим, но заложил основу для выхода в начале 2000 г. всероссийского журнала «Мехатроника». В марте того же года междисциплинарная специальность «Мехатроника» вошла, наряду с уже ставшей классической специальностью «Робототехника», в одно направление подготовки специалистов «Мехатроника и робототехника». Позднее официальную позицию о связи мехатроники и робототехники сформулировали патриарх отечественной робототехники проф. Е.И. Юревич и сменивший его на посту директора ЦНИИ робототехники и технической кибернетики (РТК) член-корр. РАН В.А. Лопота. В работах [21, 22] они указали, что мехатроника входит в родственное робототехнике научно-техническое направление и наиболее близка ей. При

этом они согласились с точкой зрения автора работы [18], что робототехника определена по функциональному назначению, а мехатроника – по физическому составу. Несмотря на такое начальное различие, ряд робототехнических систем можно отнести к полноценным мехатронным. С другой стороны, мехатронные системы в наиболее развитом виде реализуют робототехническую «триаду» сенсоры–контроллеры–актуаторы [19]. Из изложенного следует, что базовые принципы построения и методы проектирования мехатроники и робототехники имеют много общего. В первую очередь, это относится к системному подходу при проектировании и блочно-модульному принципу построения.

Претензии на первородство представителей ракетно-космической отрасли подтверждаются тем, что еще в 1960-х гг. академики РАН А.Ю. Ишлинский и Д.Е. Охочимский создали первые отечественные мехатронные системы инерциального управления баллистической ракетой и управления входом космической ракеты в плотные слои атмосферы [23, 24]. В более традиционной военной технике также имеются публикации в области мехатроники, например, работы проф. Ю.М. Сазыкина [25] и его последователей.

Взаимосвязь мехатроники и кибернетики. В работе [5] сделан вывод о том, что мехатроника сложилась как парадигма технической кибернетики. По своему характеру работа относится к фундаментальным трудам, определяющим теоретическую базу мехатроники [8, 9, 11].

Аргументация авторов следующая. «Кибернетика – это типичная метанаука и, естественно, при развитии из нее извлекаются «чистые» науки, которые продолжают жить самостоятельно. А сама «мета» в конечном итоге перестает существовать как наука». Именно данная особенность развития метанаук явилась ключевой метафорой генезиса мехатроники: период зарождения мехатроники – закат кибернетики и рассвет информатики. Среди определений мехатроники есть и такое – «наука о компьютерном управлении в технических системах». В этом контексте термин «мехатроника» эквивалентен современной, «компьютерной» трактовке ушедшего из научно-технического лексикона термина «техническая кибернетика», означающего управление в технических системах.

Непрерывная эволюция предмета технической кибернетики, обусловленная постепенным усложнением кибернетических систем, а также применением современных средств автоматизации и вычислительной техники, привела в конечном итоге к радикальному изменению ее содержания. В начале 1980-х гг. техническая кибернетика претерпевает период компьютеризации, связанный с изобретением микропроцессорных технологий, и становится основой широкомасштабной автоматизации технических объектов и технологических процессов на базе встроенных мини- и микрокомпьютеров. Принципиальной фундаментальной инновацией здесь является переход от механических и электрических к микроэлектронным вычислительным средствам обработки информации и управления на основе микропроцессоров и интегральных схем. В связи с этим в технической кибернетике наметились два самостоятельных перспективных направления дальнейшего развития по пути разработки, создания и использования компьютерной техники: первое – для обработки информации (техническая информатика), второе – для управления (мехатроника).

Кибернетика стала материнской наукой для информатики и прародительницей мехатроники. Мехатроника придала «второе дыхание» оказавшейся почти бездыханной кибернетике, обеспечив ее «второе пришествие». В аннотации к первой монографии по мехатронике [1] прямо указано, что «она посвящена актуальной проблеме построения сложных автоматических систем», что по смыслу совпадает с классическим определением кибернетики, данным А.И. Бергом [26]: «Кибернетика – наука об управлении сложными динамическими системами». К сожалению, в рассматриваемой статье не приводятся работы, где высказываются мнения, что мехатронике «еще предстоит сформироваться как самостоятельной науке, предстоит обрести обязательные атрибуты новой науки».

В работе [5] ее авторы утверждают, что мехатроника уже 20 лет назад приобрела статус самостоятельной фундаментальной технической науки, и в подтверждение этого тезиса ссылаются на свои работы [27, 28]. Сюда с полным основанием можно отнести и работы [2–26].

Мехатроника естественным образом отражает целостное восприятие информационных, вычислительных и управляющих процессов, выраженное известным шведским специалистом в области компьютерного управления техническими системами К. Острёмом следующей афористичной формулой [29]:

$$\text{Communication} + \text{Computation} + \text{Control} = \text{C 3.}$$

В подтверждение своей идеи авторы приводят такой факт: еще в 1954 г. Н. Винер дал удивительно точный прогноз именно мехатронной парадигмы развития технической кибернетики, подчеркивая, что ЭВМ будут активно использоваться для непосредственного управления исполнительными механизмами.

В работе [5] резюмируется, что информатика и мехатроника проходят этап своего тридцатилетнего становления и рассматриваются как перспективные «точки роста» науки и техники всего XXI века, что в полной мере отражает позицию такого авторитетного периодического издания в области мехатроники, как журнал «Мехатроника, автоматизация, управление».

Взаимосвязь мехатроники с микро- и наносистемной техникой. В настоящее время возникла насущная потребность остановиться на процессе признания уровневого характера мехатроники в целом, что определяется масштабом рассматриваемых объектов. Такой характер или подход заключается в том,

что существуют макро-, микро- и наноуровни [18, 30, 31]. И если границу между макро- и микромиром представить достаточно просто – она определяется возможностями человеческого зрения, то граница между микро- и наномиром не так однозначна. Существует много мнений, которые можно свести в две группы. Первая группа определяет эту границу численно – наиболее часто встречается цифра 100 нм. Авторы разделяют мнение о том, что граница микро- и наномира определяется качественно – при нарушении «сплошности» материала, т.е. при переходе к рассмотрению групп молекул, отдельных молекул и атомов. При этом надо помнить, что размер некоторых молекул (особенно органических) может достигать долей миллиметров и даже единиц миллиметров.

Один из авторов данной публикации уже в начале 2000-х г.г. в работах [18, 30] обратил внимание на то, что мехатроника к тому времени уже имела два уровня – макро- и микро-. К первому уровню относились собственно объекты мехатроники, такие как станочные приводы, бытовая и офисная техника; ко второму уровню – объекты микросистемной техники, в частности, микроэлектромеханические системы (МЭМС), микрооптоэлектромеханические системы (МОЭМС) и т.п. Таким образом, в работах [18, 30] были заложены основы уровневого подхода, который был расширен и узаконен в международном трансляторе по ТММ [31] (разрабатывался в 2002 г. [32, 33]), где закреплены понятия «мехатроника», «микро-мехатроника» (подобласть мехатроники, относящаяся к устройствам и системам с размерами в несколько миллиметров и меньше, т.е. синоним термина «микросистемная техника») и «наномехатроника» (подобласть мехатроники, относящаяся к устройствам и системам с размерами, соизмеримыми с молекулами, т.е. синоним термина «наносистемная техника»). Такой подход нашел положительный отклик у ряда отечественных ученых, которые стали использовать термины «микромехатроника» и «наномехатроника», например, в работах [7, 18, 27, 30, 31, 34].

Особо необходимо отметить, что существуют отечественные журналы «Мехатроника. Автоматизация. Управление» (первоначально «Мехатроника»), «Нано- и микросистемная техника» (первоначально «Микросистемная техника»), которые выпускаются издательством «Новые технологии», созданным на базе столичного издательства «Машиностроение». Это издательство также приняло подобный уровневый подход. И это видно не только по названию. В первом журнале печатаются статьи по микро- и наносистемной технике, а во втором – по мехатронике. Так что проблема отсутствия связи между уровнями мехатроники постепенно решается, хотя и не так быстро, как хотелось бы [5].

Кстати, уровневый подход вводится не только в мехатронике, но и в других научно-технических направлениях, например, в трибологии [35–40], где появились такие термины, как микро- и нанотрибология. В зависимости от масштаба, на котором изучается трение, в современной трибологии принято выделять три раздела: макротрибологию (или просто трибологию), микротрибологию и нанотрибологию. Макротрибология имеет дело с большими объектами и не рассматривает особенностей строения вещества. Основным соотношением макротрибологии является закон Амонтона–Кулона, который пропорционально связывает силу трения и нормальную реакцию. С другой стороны, нанотрибология в соответствии со своей предметной областью имеет дело с взаимодействием отдельных атомов и молекул или их групп.

Микротрибология является переходным разделом трибологии и занимается исследованием реальных, но элементарных контактов, например, в МЭМС [41]. Как правило, подразумевается, что небольшой выступ взаимодействует с некоторой поверхностью. В данном случае аналогом закона Амонтона–Кулона является формула Баудена–Табора.

Необходимо зафиксировать такой уровневый подход и к мехатронике, учитывая масштабный фактор. Иначе говоря, мехатроника относится к макромиру, микромехатроника – к микромиру, наномехатроника – к наномиру [7, 12, 16, 18, 27, 30, 31]. Требуется установить взаимосвязь между микро- и наносистемной техникой и мехатроникой, поскольку в отечественных журналах «Мехатроника, автоматизация, управление» и «Нано- и микросистемная техника» взаимосвязи между их предметными областями не оговариваются. В работах одного из авторов данной публикации [18, 30] такой уровневый подход к мехатронике был предложен, что нашло фактическое отражение в рассматриваемом международном трансляторе, но формально зафиксировано не было и требует такого закрепления. Также необходимо закрепление тождества терминов «микросистемная техника» и «микромехатроника» [30].

Введение в научный оборот новых терминов в мехатронике

Необходимо коснуться ряда основополагающих вопросов терминологии в мехатронике, которые в той или иной мере отражались в работах [1, 7–18, 27, 28, 30–35].

Наполнение термина «мехатронные комплексы» реальным содержанием. Коснемся следующих вопросов терминологии. В работах одного из авторов данной публикации [42, 43] и в ряде других работ [44–48] использовался термин «мехатронные комплексы». В первой работе речь шла чисто теоретически о наличии такого перспективного уровня мехатронных объектов (имелась в виду мехатронная распределенная система с отсутствием единого корпуса или оболочки), а в остальных работах название применено без четкого определения такого термина.

К настоящему времени развитие космической техники, а также миниатюризация объектов привели к реализации идеи орбитальных группировок космических аппаратов (КА). Появилась возможность нового подхода к проведению космических полетов и исследований. В частности, реализуется идея создания нового класса космических систем (КС), возникающих вследствие снижения массы КА как системообразующего элемента этих систем. Упомянутые выше КС представляют собой орбитальные группировки малых космических аппаратов (ОГ МКА), объединенных одной целевой задачей и выполняющих совместный полет на небольшом удалении друг от друга (от десятков метров до десятков километров), взаимное положение и движение которых контролируется и управляется [49, 50].

В ОГ МКА реализован принцип декомпозиции для получения качественного эффекта, который заключается в снижении общей массы. Необходимо отметить, что прямое, уменьшающее габариты масштабирование [51, 52] лишь увеличивает трудоемкость изготовления, например, малогабаритных приводов или реактивных двигателей, при очевидном снижении только затрат на материалы. Однако, применяя современные достижения в микроэлектронике, нанотехнологии, материаловедении и нетрадиционные подходы к конструированию (например, мехатронные), удастся создать качественно новые спутники, значительно отличающиеся в меньшую сторону по массе и размерам от традиционных аппаратов [18, 51, 52].

Отличительной особенностью ОГ из сверхмалых КА является большое число аппаратов в ее составе, структура ОГ может быть сложной. Например, главная ОГ может состоять из нескольких подчиненных ОГ, выполняющих частные подзадачи и содержащие КА разного типа и назначения. Иначе говоря, на каждом МКА, входящем в орбитальную группировку, может быть размещена полностью или частично сенсорная, управляющая и исполнительная, а также энергетическая подсистемы общей КС. Такая ОГ МКА или просто КС представляет собой высший уровень мехатронных объектов – мехатронный комплекс (т.е. распределенную мехатронную систему) [17]. И, естественно, при таком подходе к созданию КС кардинально меняются подходы к созданию систем управления, к созданию самих КА, к целевому применению КС в целом. Подробности такого подхода изложены в цикле работ [49–57].

Таким образом, снижение массы КА на порядки дало увеличение на порядки и численности ОГ, что, в свою очередь, привело к появлению нового класса КС. Иначе говоря, реализован закон перехода количества в качество – известный закон диалектики. Миниатюризация в этом случае входит в арсенал разработчиков новых КС. Такое направление использования малых спутников особенно важно для России, ибо космическая отрасль, будучи областью приложения высоких технологий из многих отраслей науки и техники, может и должна служить одним из локомотивов инновационного развития России, о чем сейчас так часто говорят с высоких трибун (хотя в начале 1990-х г.г. с тех же трибун раздавались предложения о ликвидации этой отрасли как таковой). К счастью для страны, развитие ее лишь затормозилось, хотя и значительно. А в последнее время число техногенных катастроф с ракетами-носителями МКА существенно возросло и наносит ощутимый вред как экономике, так и престижу страны [58].

Можно констатировать, что современная космическая техника выходит на первое место в плане наполнения реальным содержанием термина «мехатронные комплексы» [17]. Его можно найти и в других отраслях промышленности, например, в измерительной технике (системы климат-контроля [59]), в медицинской технике (сканирующие лазерные терапевтические установки [60]), в станкостроении (непоточные технологические линии [47]), в авиационной технике (беспилотные летательные аппараты с пультами управления [52]), в военной технике (управляемые снаряды [25]).

Введение в научный оборот термина «мехатронизированный объект». Термин «мехатронизированный» объект, появившийся в отечественной технической литературе в работах [10, 30, 33], за последние годы так прочно вошел в фундаментальные понятия мехатроники, что используется как общепризнанный в работах [2, 61–68]. Термин «мехатронизированный объект» позволяет применять мехатронные методы, принципы и подходы к объектам, не полностью отвечающим канонам мехатроники. В связи с появлением указанного термина появилось предложение о создании класса мехатронных машин [62–66], включающих в себя и мехатронизированные. Вопрос требует фиксации в документах типа MMS-Terms-2003 [31].

Коррекция использования термина «мехатронный модуль». Широкое использование термина «мехатронный модуль», который весьма популярен в научной литературе (см., например, [67, 68]), не совсем корректно. Дело в том, что модуль, согласно определению, – унифицированный узел [42], а мехатронный объект в настоящее время в основном предполагает эксклюзивный, креативный характер. В этой связи логичнее использовать термин «мехатронный узел». Из вышеизложенного логично вытекает, что для мехатронных объектов одним из характерных признаков является отсутствие ремонтпригодности, а долговечность носит ресурсный характер [69]. При этом для производства мехатронных объектов используют следующие типы производств: непоточное [47], индивидуальное или мелкосерийное [18].

Взаимосвязь мехатроники с авионикой, автотехникой, логистикой. В связи с широким внедрением мехатронных технологий в авиа- и автомобилестроении необходимо более четко установить взаимосвязь мехатроники с авионикой [18, 43, 52, 70] и автотехникой [6, 18, 71, 72].

Термин «авионика» появился на Западе в начале 1970-х гг., когда электронная техника достигла такого уровня развития, что стало возможно применять электронные устройства в бортовых авиационных системах и за счет этого существенно улучшать качественные показатели применения авиации. В том числе, в этот период времени появились первые бортовые электронные вычислители (компьютеры), а также принципиально новые автоматизированные и автоматические системы управления и контроля [43]. В энциклопедии [70] авионика трактуется как приборная часть летательного аппарата.

Широкое внедрение электроники привело к возникновению такой области техники, как автомобильная электроника. В иностранной литературе в качестве синонима автомобильной электроники используются также термины «мехатроника» и «электроника» или «автоника» (объединение слов «автомобильная электроника»). Понятие «автомобильная электроника» широко распространено в современной технической литературе [71, 72], но его общепринятое определение отсутствует. Авторы предлагают трактовать эти понятия как мехатронику в авиационной и автомобильной технике.

Логистика – управление потоками движения товаров, а также диспетчирование – управление группами объектов, имеют некоторую взаимосвязь с мехатроникой, которую необходимо вскрыть более подробно.

Отдельные замечания. К проблемам терминологии в области мехатроники можно отнести и следующий факт. В некоторых научных журналах имеются разделы под названиями «мехатронные системы», однако в них печатаются статьи, в которых термин «мехатроника» не упоминается, таким образом, авторы априори считают исследуемые системы мехатронными (например, [73]).

В работе [2] отмечено, что даже после того, как ИFToMM в лице своего комитета по стандартизации терминологии приняла ряд базовых терминов в области мехатроники [16, 31] некоторые ученые продолжают считать, что мехатроника – просто «хорошее проектирование» или даже «это то, что мы уже давно делаем, не давая нового имени».

Заключение

Из вышеизложенного следует, что:

- завершается процесс создания базовой терминологии в области мехатроники (о чем свидетельствуют работы [1–18, 21–23, 27, 28, 30–35, 42, 43, 62–65]);
- установлена взаимосвязь мехатроники с робототехникой и кибернетикой [5, 14, 16, 18–22];
- успешно идет процесс признания уровневого характера мехатроники (т.е. взаимосвязи мехатроники с микро- и наносистемной техникой) [7, 18, 27, 30, 31, 34];
- наполняется реальным содержанием термин «мехатронные комплексы» [17];
- получил признание введенный в научный оборот термин «мехатронизированный объект», позволяющий применять мехатронные методы, принципы и подходы проектирования к объектам, не полностью отвечающим канонам мехатроники [2, 16, 30, 42, 43, 61–66].

Перечислим тезисно ряд положений, которые нуждаются в уточнении для более успешного развития мехатроники:

- необходимо расширить понимание мехатроники от компьютерного управления движением до управления физическим состоянием объекта [5, 74, 75];
- следует добиться того, чтобы все определения отвечали основным критериям научно-технических терминов (однозначность, точность, четкость, краткость) [3, 5];
- следует сформировать отношение к введенному в научный оборот термину «мехатронный класс», включающему в себя мехатронные и мехатронизированные объекты [61–63];
- важно определить взаимосвязь мехатроники и логистики (т.е. управления потоками движения товаров, а также диспетчирования – управления группами объектов);
- необходимо определить такое понятие, как электромехатроника [76].

Изложенные в публикации некоторые предложения по корректировке понятий являются необходимым этапом развития мехатроники.

Авторы рассматривают данную публикацию в качестве апробации своих предложений, которые выносятся на рассмотрении 25-го рабочего заседания комиссии по стандартизации и терминологии ИFToMM, которое планируется провести на базе НИУ ИТМО в июне 2014 г.

Литература

1. Исии Т., Симояма И., Иноуэ Х., Накадзима Н. Мехатроника / Пер. с яп. С.Л. Масленникова; Под ред. В.В. Василькова. М.: Мир, 1988. 318 с.
2. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М.: Машиностроение, 2007. 256 с.

3. Филимонов Н.Б. Эволюция мехатроники // Известия Тульского государственного университета. Сер. Вычислительная техника. Информационные технологии. Системы управления. 2006. Т. 2. В. 3. С. 277–281.
4. Подураев Ю.В. Актуальные проблемы мехатроники // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 4. С. 50–54.
5. Теряев Е.Д., Филимонов Н.Б., Петрин К.В. Мехатроника как компьютерная парадигма развития технической кибернетики // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 6. С. 2–10.
6. Алексеев О.П., Алексеев В.О., Логачов Е.П., Туренко А.И. Телематика, мехатроника и синергетика на автомобильном транспорте // Автомобильный транспорт (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет). 2009. № 25. С. 266–269. [укр.]
7. Теряев Е.Д., Филимонов Н.Б. Наномехатроника: состояние, проблемы, перспективы // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 1. С. 2–14.
8. Осипов Ю.М. К вопросу о развитии понятия «мехатроника» // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 1 (21). Ч. 2. С. 193–198.
9. Кориков А.М. О развитии понятия «мехатроника» // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 1 (21). Ч. 2. С. 199–202.
10. Shalobaev E.V. Mechatronics: Today Problems and Development trends of Terminology // Proc. 23rd Working Meeting of the IFToMM Permanent Commission for Standardization of Terminology on MMS. Minsk–Gomel, Belarus, 2010. P. 111–118.
11. Кориков А.М. Еще раз о мехатронике как науке // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 5. С. 2–8.
12. Толочка Р.-Т., Шалобаев Е.В. Терминология в области мехатроники // Материалы Десятой сессии Международной научной школы «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов» (Фридендеровские чтения). ВУР-2011. СПб: Институт проблем машиноведения РАН, 2011. С. 38–44.
13. Сергеев С.Ф. Мехатроника как конвергентная научно-практическая дисциплина // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 1. С. 2–6.
14. Шалобаев Е.В., Толочка Р.-Т. К вопросу о терминологии в области мехатроники // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 5 (81). С. 148–151.
15. Осипов Ю.М., Щербинин С.В. О мехатронике как научной основе создания высокотехнологичной продукции // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 8. С. 2–6.
16. Шалобаев Е.В., Толочка Р.-Т. О рекомендациях IFToMM по терминологии в области мехатроники // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 2. С. 2–5.
17. Шалобаев Е.В. Вопросы терминологии и миниатюризации космических аппаратов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 10. С. 60–66.
18. Шалобаев Е.В. Микросистемная техника и мехатроника: особенности соотношения микро- и макроуровней // Микросистемная техника. 2000. № 4. С. 5–9.
19. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов. 2-е изд., испр. И доп. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 480 с.
20. Робототехника и мехатроника: Сборник трудов / Под ред. А.М. Потапова. М.–СПб: Балтийский государственный технический университет, 1996. 235 с.
21. Юревич Е.И., Игнатова Е.И. Основные принципы мехатроники // Мехатроника, автоматизация, управление. 2006. № 3. С. 10–12.
22. Лопота В.А., Юревич Е.И. Экстремальная робототехника и мехатроника. Принципы и перспективы развития // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 4. С. 37–42.
23. Александров В.В. Несколько слов о мехатронике // Мехатроника. 2000. № 1. С. 4.
24. Энеев Т.М., Овчинников М.Ю., Голиков А.Р. Прикладная небесная механика и управление движением: Сборник статей, посвященный 90-летию со дня рождения Д.Е. Охочимского. М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, 2010. 368 с.
25. Сазыкин Ю.М., Филиппов С.И. Мехатронные системы управления огнем и наведением огневых средств артиллерии // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 4. С. 52–57.
26. Кибернетика, мышление, жизнь / Под ред. А.И. Берга, Б.В. Бирюкова, И.Б. Новика, И. В. Кузнецова, А. Г. Спиркина. М.: Мысль, 1964. 511 с.
27. Теряев Е.Д., Филимонов Н.Б., Петрин К.В. Современный этап развития мехатроники и грядущая конвергенция с нанотехнологиями // Материалы 5-й Научно-технической конференции «Мехатроника, автоматизация, управление». СПб: ГНЦ ЦНИИ «Электроприбор», 2008. С. 9–20.
28. Теряев Е.Д., Петрин К.В., Филимонов Н.Б. От кибернетики к информатике и мехатронике: эволюция современных представлений // Труды X Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: Самарский научный центр РАН, 2008. С. 22–25.
29. Острём К. Введение в стохастическую теорию управления. М.: Мир, 1973. 324 с.

30. Шалобаев Е.В. Теоретические и практические проблемы развития мехатроники // Современные технологии: Сборник / Под ред. С.А. Козлова. СПб: ГИТМО (ТУ), 2001. С. 46–66.
31. Delft University of Technology (Netherlands). Standardization of terminology for the mechanism and machine science (MMS-Terms-2003) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iftomm.3me.tudelft.nl/1049/frames.html>, свободный. Яз. англ. (дата обращения 25.11.2013).
32. Аршанский М.М., Шалобаев Е.В. Мехатроника: основы глоссария // Мехатроника. 2001. № 4. С.47–48.
33. Шалобаев Е.В. К вопросу о международном трансляторе по мехатронике // Мехатроника. 2002. № 2. С. 13–14.
34. Лопота В.А., Юревич Е.И. Мехатроника – основа интеллектуальной техники будущего // Микросистемная техника. 2003. № 1. С. 36–38.
35. Шалобаев Е.В. Проблемы и тенденции развития терминологии в современных условиях // Датчики и системы. 2004. № 4. С. 29–32.
36. Scherge M., Gorb S. Biological micro- and nanotribology: Nature's solutions. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. 304 p.
37. Шилько С.В., Старжинский В.Е., Бабин А.П., Зернин М.В., Шалобаев Е.В. Особенности расчета сопряжений компонентов МЭМС // Микросистемная техника. 2003. № 6. С. 16–20.
38. Шалобаев Е.В. Микросистемная техника и тенденции развития современной трибологии // Микросистемная техника. 2003. № 9. С. 26–27.
39. Шалобаев Е.В., Старжинский В.Е., Шилько С.В. Тенденции развития современной трибологии на микро- и наноуровнях // Труды Международного симпозиума «Гидродинамическая теория смазки»: В 2-х т. М.: Машиностроение, 2005. Т. 2. С. 289–295.
40. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
41. Шилько С.В., Старжинский В.Е., Бабин А.П., Зернин М.В., Шалобаев Е.В. Особенности расчета сопряжений компонентов МЭМС // Микросистемная техника. 2003. № 6. С. 16–20.
42. Шалобаев Е.В. К вопросу об определении мехатроники и иерархии мехатронных объектов // Датчики и системы. 2001. № 7. С. 62–64.
43. Шалобаев Е.В. Теоретические и практические проблемы развития авионики и мехатроники // Проблемы интеллектуального управления в авионике. СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. С. 12–43.
44. Управление мехатронными вибрационными установками / Под ред. И.И. Блехмана, А.Л. Фрадкова. СПб: Наука, 2001. 278 с.
45. Паршин Д.Я. Анализ и синтез робототехнических и мехатронных комплексов для крупнопанельного и монолитного строительства. Дис. ... докт. техн. наук: 05.02.05. Новочеркасск, 2006. 328 с.
46. Шахнин В.А. Мехатронные комплексы магнитной локации технических объектов с элементами из нанокристаллических магнитомягких сплавов. Дис. ... докт. техн. наук: 05.02.05, 05.02.11. Владимир, 2009. 365 с.
47. Белоновская И.Д., Цветкова К.Е., Осадчий Ю.С. К вопросу выбора технологического оборудования непоточного производства // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 1 (3). С. 521–524.
48. Бобцов А.А., Боргуль А.С., Зименко К.А., Маргун А.А. Применение мехатронных комплексов в обучении автоматизации и робототехнике // Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. № 2. С. 22–30.
49. Фатеев В.Ф. Концепция создания орбитальных группировок сверхмалых космических аппаратов в интересах информационного обеспечения северных территорий России // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47. № 3. С. 5–9.
50. Smirnov G.V., Ovchinnikov M.Ya., Guerman A. Use of solar radiation pressure to maintain a spatial satellite formation // Acta Astronautica. 2007. V. 61. N 7–8. P.724–728.
51. Овчинников М.Ю. Малыши завоевывают мир [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%CC%E0%EB%FB%E5_%F1%EF%F3%F2%ED%E8%EA%E8, свободный. Яз. рус. (дата обращения 25.11.2013).
52. Распопов В.Я. Микросистемная авионика. Тула: Гриф и К°, 2010. 248 с.
53. Овчинников М.Ю. Малые мира сего // Компьютерра. 2007. № 15. С. 37–43.
54. Трошин Е.В. О проблеме классификации космических аппаратов, порожденной миниатюризацией // Нано- и микросистемная техника. 2005. № 1. С. 45–48.
55. Малые спутники [Электронный ресурс] // Википедия [Официальный сайт]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8, свободный. Яз. рус. (дата обращения 25.11.2013).
56. Ардашов А.А. Основные тенденции в конструировании МКА // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47. № 3. С. 9–15.

57. Фатеев В.Ф., Шутов В.С., Кремез Г.В. Межуниверситетская программа развития технологий на основе малых и сверхмалых КА // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47. № 3. С. 15–17.
58. Крылов А. Орбитальная группировка космических аппаратов гражданского и двойного назначения России за первые 10 лет XXI века // Технологии и средства связи. 2011. № 4. С. 58–59.
59. Петров С.Ю., Шалобаев Е.В. Универсальные регистрирующие и показывающие приборы как элемент иерархии мехатронных объектов // Мехатроника. 2001. № 5. С. 29–34.
60. Шалобаев Е.В., Юркова Г.Н., Ефименко В.Т., Ефименко А.В., Леонтьева Н.В. Сканирующие лазерные установки в медицине // Научно-технический вестник СПб ГИТМО (ТУ). 2001. № 4. С. 147–150.
61. Подураев Ю.В. Анализ и проектирование мехатронных систем на основе критерия функционально-структурной интеграции. Ч. I. Функционально-структурный подход к проектированию мехатронных систем // Мехатроника. 2002. № 4. С. 28–34.
62. Горбатов П.А., Петрушкин Г.В., Лысенко Н.М., Павленко С.В., Косарев В.В. Горные машины для подземной добычи угля. Донецк: ДонНТУ, 2006. 669 с.
63. Горбатов П.А. Параллельное проектирование выемочных машин мехатронного класса как энергетических, динамических и автоматизированных систем // Наукові праці ДонНТУ. Сер. Гірничо-електромеханічна. 2010. В. 18 (172). С. 13–25. [укр.]
64. Горбатов П.А., Лысенко Н.М., Подобедов Н.И. Математическая и структурная модели для оптимального проектирования подсистем подвески и перемещения исполнительного органа проходческих комбайнов мехатронного класса // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 7. С. 9–15.
65. Горбатов П.А. Особенности параллельного проектирования горных выемочных машин новых поколений как энергетических систем мехатронного класса // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 10. С. 39–42.
66. Краснов С.В., Гурьянов Д.А., Краснов С.С. Интеллектуальное управление в мехатронных системах // Вестник Волжского университета им. В.В. Татищева. 2011. № 17. С. 100–104.
67. Казмиренко В.Ф. Электрогидравлические мехатронные модули движения: Основы теории и системное проектирование: Учеб. пособие. М.: Радио и связь, 2001. 432 с.
68. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей: Учебник. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2004. 360 с.
69. Козырев Ю.Г. Промышленная роботизация, мехатроника и проблемы автоматизации сборочных операций // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2006. № 2. С. 24–26.
70. Авионика России: Энциклопедический справочник / Под общ. ред. С.Д. Бодрунова. СПб: НАОП, 1999. 780 с.
71. Сига Х., Мидзутани С. Автомобильная электроника: Учеб. пособие. М.: Мир, 1989. 227 с.
72. Алексієв О.П., Алексієв В.О., Богаєвські О.Б., Бороденко Ю.М., Биков О.М., Неронов С.М., Калмиков В.І., Рожкова С.Е., Серіков С.А., Сергієнко О.Ю., Смирнов О.П., Тирса В.В., Чаплигін Е.О., Шапошнікова О.П. Електронний варіант термінологічного словника. Атомобільна мехатроніка. Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2011. 39 с.
73. Пупков К.А. Седьмой форум по мехатронике // Мехатроника. 2001. № 3. С. 46–47.
74. Мехатронные системы // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2008. № 3 (48). С. 21–107.
75. Крайнов А.Ф. Механика машин: Фундаментальный словарь. М.: Машиностроение, 2000. 904 с.
76. Герман-Галкин С.Г., Ермилов А.С. Классификация и анализ электромехатронных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 1996. Т. 39. № 3. С. 13–21.

Шалобаев Евгений Васильевич

– кандидат технических наук, профессор, доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, shalobaev47@mail.ru

Толочка Римантас-Тадас Антонасович

– доктор технических наук, профессор, Каунасский технологический университет, Каунас, Литва, tadas.tolocka@ktu.lt.

Evgeniy Shalobaev

– PhD, Associate professor, Associate professor, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, shalobaev47@mail.ru

Rimantas-Tadas Tolockka

– D.Sc., Professor, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, tadas.tolocka@ktu.lt.