

МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ГЕТЕРОСТРУКТУР ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В. В. Смогунов, Н. С. Кузнецов, Н. К. Юрков

Введение

Электроэнергетика – важнейшая часть энергетики, включающая комплекс процессов электрической и тепловой энергии, передачи электроэнергии, управления в электроэнергетике, сбора и потребления электроэнергии, а также экономических отношений объектов собственности.

Электроэнергетика – основа функционирования экономики и жизнеобеспечения земной цивилизации.

Мировое производство электроэнергии в млрд кВт·ч: в 1900 г. – 15, 1950 г. – 950, 2000 г. – 14500, 2015 г. – 25 129. Мировое потребление электроэнергии в 2015 г. составило 19,5 трлн кВт·ч.

Основными потребителями электроэнергии являются: промышленность – 40 %, топливно-энергетический комплекс – 20 %, жилой сектор – 15 %, железнодорожный транспорт – 15 %, потери в сетях – 10 %. По разным территориям эта структура существенно различна.

В глобальном энергетическом балансе нефть – 32 %, уголь – 27,5 %, газ – 23 %, дрова и кизяки – 9 %, ядерная энергия – 7 %, гидро – 2,5 %, жидкое биотопливо – 0,5 %, солнце с ветром – 0,5 %. Топливо для транспорта – 95 %.

Гетероструктура мирового производства электроэнергии: ТЭС на угле – 40 %, ТЭС на мазуте – 7 %, ТЭС на газе – 20 %, ГЭС – 16 %, АЭС – 16 %, прочие – 1 %.

Фундаментальным фактором при этом выборе является гетерогенность социотехнических структур управления, оборудования, используемых материалов, персонала, особенностей территорий и пр.

Следует отметить также важнейшие факторы, определяющие надежность мехатронных гетероструктур энергетики – оборудования, линий передачи энергии, трансформаторов и пр. Это нанонесплошности в гетероструктурах типа субмикротрещин, расслоений и пористости [1–5].

Под мехатронными структурами энергетики имеются в виду составляющие энергетических систем – механические, электротехнические, электронные и гибридного интеллекта. Гибридный интеллект в современном понимании – алгоритмы, программы, компьютеры вкупе с интеллектом человека [1].

Интегральным критерием оценки конкретной технологии производства энергии считается количество полученной энергии в расчете на единицу энергии, затраченной на ее получение. По сравнительной оценке разных технологий наиболее эффективной признается атомная энергетика замкнутого ядерного топливного цикла по значимым тяжелым нуклидам [2]. Однако существуют и другие оценки, например Ж. И. Алферов считает, что существенно более эффективными являются солнечные технологии, получающие все большее распространение в мировой энергетике [3].

Весьма продуктивными признаются технологии эволюционного развития широко применяемых методов и средств энергетики и электроэнергетики в рамках современных тенденций циклической экономики.

В этой связи представляется актуальной для России проблема выработки конкретных управленческих решений для обеспечения выполнения программ модернизации Единой энергетической системы РФ в условиях ускорения исследований, разработок, открытий в социотехносфере.

Как правило, решение подобных мегапроблем строится на основе анализа информации по проблеме, проектированию новых программ и алгоритмов по частным решениям проблемы и синтезу более эффективных гетероструктур [4].

1. Системный анализ информации по динамике гетероструктур электроэнергетики

Динамика гетероструктур в современном понимании – фундаментальная общенаучная дисциплина, являющаяся базой для исследований во всех сферах человеческой деятельности по изучению окружающей действительности и созданию комфортной среды жизнедеятельности [5].

Динамика – учение о ресурсах и производимых ими эволюционных изменениях, включая обобщенную эволюцию в многомерном пространстве состояний от зарождения до гибели структур. Под эволюцией понимается закономерное изменение материальных и иных ресурсов.

Гетерогенный – принадлежащий другому виду, неоднородный, составленный из разных элементов.

Структура – совокупность устойчивых связей и отношений объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе.

Гетероструктуры электроэнергетики – совокупность производств электроэнергии, линий передач, методов и средств управления и пр.

Совокупность производств электроэнергии представляет собой некоторое множество объектов – электростанций – разное для разных стран.

Ведущую роль в электроэнергетике России играют **тепловые электростанции (ТЭС)**. Они вырабатывают сейчас около 2/3 всей электроэнергии в стране. Наибольшее распространение получили ТЭС с паровыми, газотурбинными и парогазовыми установками.

Тепловые электростанции требуют огромного количества органического топлива (до 5 млрд в год), запасы же его сокращаются, а стоимость постоянно возрастает из-за усложняющихся условий добычи и дальности перевозок. Так, для ТЭЦ, расположенных на европейской части, привозится около 2/3 потребляемого топлива, а транспортировка топлива обходится значительно дороже передачи электроэнергии.

ТЭС строятся с относительно небольшими затратами и быстро как возле месторождения топливных ресурсов, так и возле крупных центров потребления энергии. Но они требуют для своего обслуживания значительного количества персонала, довольно плохо регулируются, в больших масштабах сжигают исчерпаемые и невозобновимые виды минерального топлива – уголь, газ, мазут, торф, сланцы. Коэффициент использования топлива в них довольно низок (не более 40 %), а объемы отходов, загрязняющих окружающую среду, велики. Максимальный экологический вред наносят ТЭС, работающие на высокочольном буром угле, наименьший – работающие на газе.

Различаются ТЭС – конденсационные станции, в них сжигается минеральное топливо, за счет чего в котлах нагревается вода, превращающаяся в пар. Пар проходит через турбины, вырабатывая электроэнергию, а затем он конденсируется и вновь поступает в котел. Самые мощные конденсационные станции называются ГРЭС – государственные районные электростанции. В европейской части России ГРЭС работают в основном на газе и мазуте, а в азиатской – на угле.

Известны ТЭС – теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), вырабатывающие электроэнергию и тепло. За счет этого коэффициент использования топлива выше, строятся они только возле потребителя, так как тепло можно передавать лишь на небольшие расстояния. Самые мощные ТЭЦ в России расположены в Москве и ее окрестностях.

Комплексы тепловых электростанций, работающих на углях одного месторождения, получили название топливно-энергетических комплексов. Экономические, технико-экономические и экологические факторы не позволяют считать тепловые электростанции перспективным способом получения электроэнергии.

Гидроэнергетические станции (ГЭС) являются самыми экономичными. Их к.п.д. достигает 93 %, а стоимость одного кВт·ч в 5–6 раз дешевле, чем при других способах получения электроэнергии. Они используют бесплатный источник энергии, обслуживаются минимальным количеством работников, хорошо регулируются. По величине и мощности отдельных гидроэлектростанций и агрегатов наша страна занимает ведущее положение в мире.

Но ГЭС имеют и ряд недостатков: значительные затраты и сроки строительства, обусловленные удаленностью мест строительства ГЭС от крупных городов, отсутствие дорог, трудные условия строительства, мощные ГЭС могут быть построены только в местах наличия соответствующих ресурсов.

Известны приливные электростанции, использующие энергию приливов и отливов морей и океанов (ПЭС); гидроаккумулирующие станции (ГАЭС), способные накапливать энергию искусственных морей и озер.

Говоря о преимуществе ГЭС, не следует забывать о том, что она находится в сложном взаимодействии с другими потребителями и пользователями воды: водным транспортом, ирригацией, водоснабжением, рыбным хозяйством. Возникает много экологических вопросов.

Атомные электростанции (АЭС) работают по одному принципу с тепловыми электростанциями, т.е. происходит преобразование тепловой энергии в механическую энергию вращения вала турбины, которая приводит в действие генератор, где механически энергия преобразовывается в электрическую. АЭС вырабатывают 16 % электроэнергии в стране. Главное достоинство АЭС – небольшое количество используемого топлива (1 кг обогащенного урана заменяет 2,5 тыс. т угля), вследствие чего АЭС могут быть построены в любых энергодефицитных районах. К тому же запасы урана на Земле превышают запасы традиционного минерального топлива, а при безаварийной работе АЭС незначительно воздействуют на окружающую среду.

Главным недостатком АЭС является возможность аварий с катастрофическими последствиями, для предотвращения которых требуются серьезные меры безопасности. Кроме того, АЭС плохо регулируются (для их полной остановки или включения требуется несколько недель), не разработаны технологии переработки радиоактивных отходов.

Атомная энергетика выросла в одну из ведущих отраслей электроэнергетики и продолжает быстро развиваться, обеспечивая безопасность и экологическую чистоту.

Для увеличения надежности поставок электроэнергии большое количество станций и потребителей объединяют в энергосистемы. Системы позволяют также оптимально сочетать электростанции разных типов. АЭС всегда работают на полную мощность, ТЭС работают на полную мощность в зимний период и частично летом, а ГЭС включаются для покрытия суточных пиков нагрузки. Станции почти всей европейской части страны (кроме крайнего северо-востока) и юга азиатской части вплоть до Байкала объединены в Единую энергосистему России. Эта система позволяет также перебрасывать энергию на большие расстояния, используя разницу во времени и в уровне развития электроэнергетики. Из наиболее энергоизбыточного Восточно-Сибирского района энергия передается на Урал в другие западные районы страны. В северных и в восточных регионах России работают изолированные энергосистемы, состоящие преимущественно из ТЭС и сильно зависящие от регулярности поставок топлива.

Солнечные электростанции (СЭС) развиваются в двух направлениях: машинном (генераторном) и безмашинном. При машинном способе получения электроэнергии используется солнечный парогенератор, который через турбину приводит в действие генератор электрического тока, вырабатывающий электроэнергию. Первая электростанция построена на территории Крыма. Ее первая очередь (СЭС-5) мощностью 5 тыс. кВт введена в эксплуатацию. Солнечный парогенератор Крымской СЭС расположен на башне высотой 70 м. На Земле установлены здания электростанции, зеркальные гелиостаты, оборудованные автоматической системой наблюдения за положением Солнца. Солнечные лучи, отраженные от зеркал гелиостатов, концентрируются на парогенераторе и нагревают циркулирующую в нем воду до температуры 250° С при давлении 4 МПа, благодаря чему приводятся в действие турбины, связанные с генератором электрической энергии. На электростанции предусмотрена возможность аккумуляции тепла, что позволяет обеспечивать работу турбины в облачную погоду и ночью. Ежегодная выработка около 6 млн кВт·ч электроэнергии позволяет СЭС-5 сберечь 2 тыс. т условного топлива. Основным недостатком СЭС является их большая стоимость. Особый интерес проявляется к геотермальной энергии, имеющей естественный выход на поверхность земли в виде горячей воды и пара. В нашей стране к числу наиболее перспективных геотермальных районов относятся обширные территории на Камчатке, Сахалине, Северном Кавказе, Закавказье, в Крыму и Курильских островах. На Камчатке действует первая в стране Паужетская парогидротермальная электростанция (ГеоТЭС) мощностью 11 тыс. кВт. После строительства Мутновской ГеоТЭС энергия будет вырабатываться в промышленных масштабах. Проектная мощность этой электростанции 200 тыс. кВт, она крупнейшая в мире среди ГеоТЭС. Обратная закачка геотермальных вод в подземные пласты делает ГеоТЭС экологически безвредной, что имеет большое значение для нормальной жизни многочисленных рек Камчатки, богатых ценными породами рыб.

Запасы ветровой энергии на нашей планете во много раз превышают современную выработку электроэнергии. Определено, что энергию ветра можно широко использовать всюду, где его скорость превышает 3 м/с. У нас в стране к таким районам относятся: Азово-Черноморская зона, побережье Каспийского моря, Нижнее Поволжье, южная часть Западной Сибири, побережье озера Байкал, Приморский край, остров Сахалин, побережье Охотского моря, Камчатка, Курильская гряда, побережье Северного Ледовитого океана, где среднегодовая скорость ветра достигает

5–10 м/с в течение 270–320 сут в год. Для преобразования энергии ветра выпускаются промышленные серии ветроагрегатов: АВЭУ-6 мощностью 4кВт для скоростей ветра 50 м/с, АВЭУ-4 мощностью 1 кВт для умеренных скоростей ветра и АВЭУ-12 мощностью 16кВт для расчетной скорости 10 м/с. Разрабатываются агрегаты с электрическими генераторами переменного тока мощностью 30 и 100 кВт, а также до 30 тыс. кВт с вертикальной осью и лопастями.

Использование научно-технических достижений по целому ряду направлений сдерживается низкой плотностью потоков энергии, снимаемой с единицы поверхности преобразующего оборудования, и невозможностью постоянного использования большинства из них.

Системный анализ информации по динамике мехатронных гетероструктур электроэнергетики позволяет установить новые связи между множеством требований и нарастающей гетерогенностью структур электроэнергетики, в частности существенными флуктуациями потребления и зачастую излишками производства электроэнергии в разных регионах. Установлена такая важнейшая часть системных связей – интеллект человека в энергетической системе. Воздух, вода, еда, одежда, тепло, жилище, освещение достаточны для *homo sapiens*. Для современного биовида *homo intellectus* важны в первую очередь нематериальные ценности.

2. Информационно-вычислительный комплекс «Динамика гетерогенных структур электроэнергетики»

Информационно-вычислительный комплекс «Динамика гетерогенных структур электроэнергетики» (ИВК ДГСЭ) построен на базе алгоритмов и программ анализа больших массивов разнородной информации, в том числе DataMining; включает алгоритмы и программы вычисления динамики и прочности мехатронных гетероструктур, а также нестационарных тепловых полей в гетероструктурах с фазовыми переходами; включает также алгоритмы и программы с гиперграфовыми моделями изменчивости адаптивных систем и визуализации нанонесплошностей [6–8].

В качестве фрагмента ИВК предлагается важная для практики, особенно северных территорий, модель процесса замерзания жидких слоев в многослойной гетероструктуре [9].

Модель процесса замерзания жидкого слоя

Математическое моделирование нестационарных тепловых полей состоит в решении нестационарного уравнения теплопроводности в двумерной области G с соответствующими граничными и начальными условиями:

$$\begin{aligned} C \frac{\partial T}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{W} &= 0, \\ \vec{W} &= -\lambda \operatorname{grad} T, \\ W &= -\alpha_T (T - T_C). \end{aligned}$$

Особенностью рассматриваемой задачи является необходимость учета фазового перехода из жидкого в твердое состояние.

Для сквозного счета таких задач без явного выделения фронта затвердевания нужно учесть, что при температуре фазового перехода $T - T^*$ энергия E как функция температуры испытывает переход величины Q^* , который называется теплотой фазового перехода, поэтому для энергии справедливо

$$E = \int_0^T c(T) dT + Q^* \theta(T - T^*),$$

где $\theta(T) = \begin{cases} 1, & T \geq 0, \\ 0, & T < 0. \end{cases}$

Это выражение подставляется в уравнение энергии: $\frac{\partial E}{\partial T} + \operatorname{div} \vec{W} = Q$, и, учитывая, что $\frac{dQ(T)}{dT} = \delta(T)$ есть дельта-функция Дирака, получается уравнение

$$(C(T) + Q^* \delta(T - T^*)) \frac{\partial T}{\partial t} + \operatorname{div} \bar{W} = Q,$$

справедливое и в области фазового перехода. Выражения $C(T)$ и $Q^* \delta(T - T^*)$ входят в уравнение одинаковым образом, причем $Q^* \delta(T - T^*)$ представляет собой сосредоточенную теплоемкость на поверхности $T - T^*$.

Для перехода к разностной схеме заменяется дельта-функция приближенно δ -образной или размазанной функцией $\delta(T - T^*, \Delta) \geq 0$, где Δ – величина полуинтервала, на котором функция $\delta(T - T^*, \Delta)$ отлична от нуля.

Таким образом, вводится сглаженная или эффективная теплоемкость $C_3(T) = C(T) + Q^* \delta(T - T^*, \Delta)$, которая удовлетворяет условию $C_3(T) = C(T)$ вне интервала $(T^* - \Delta, T^* + \Delta)$.

Изменение энтальпии на интервале $(T^* - \Delta, T^* + \Delta)$ сокращается, т.е.

$$\int_{T^* - \Delta}^{T^* + \Delta} C_3(T) dT = Q^* + \int_{T^* - \Delta}^{T^* + \Delta} C(T) dT.$$

На интервале $(T^* - \Delta, T^* + \Delta)$ можно, например, взять $C_3(T) = \frac{Q^*}{2\Delta} + C(T)$, что будет соответствовать интерполяции δ -функции с помощью прямоугольного импульса. На том же интервале производится сглаживание коэффициента теплопроводности λ . Вводится сглаженный, или эффективный, коэффициент $\lambda_3(T)$, совпадающий с $\lambda_1(T)$ при $T < T^* - \Delta$ и с $\lambda_2(T)$ при $T > T^* + \Delta$.

Например, если задавалось

$$\lambda(T) = \begin{cases} \lambda_1, & T < T^*, \\ \lambda_2, & T > T^*, \end{cases}$$

ТО МОЖНО ВЗЯТЬ

$$\lambda_3(T) = \begin{cases} \lambda_1, & T < T^* - \Delta, \\ \lambda_2, & T > T^* + \Delta, \\ \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2\Delta} T + \lambda_1 - \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2\Delta} (T^* - \Delta), & T \in (T^* - \Delta, T^* + \Delta). \end{cases}$$

В результате получается задача для уравнения теплопроводности со сглаженными коэффициентами

$$C_3(T) \frac{\partial T}{\partial t} + \operatorname{div} \bar{W} = 0,$$

$$\bar{W} = -\lambda_3(T) \operatorname{grad} T.$$

Моделирование процессов затвердевания границ льда и основы позволяют выбрать наиболее эффективные методы и средства борьбы с обледенением энергообъектов на суше и обеспечить безопасное плавание судов в условиях Арктики, Дальнего Востока и др.

Другой фрагмент ИВК – визуализация нанонесплошностей в гетероструктурах, особенно важен для мехатроники оборудования, приборов, линий передачи. Визуализация и документирование нанонесплошностей с разрешением 50...60 нм обеспечивают выполнение современных требований к надежности электроэнергетики [7].

3. Закономерности динамики гетероструктур энергетики

Использование информационно-измерительного комплекса ИВК ДГСЭ позволило установить новые нетривиальные системные связи и закономерности динамики гетероструктур энергетики России и мира.

Следует выделить основную закономерность: гетерогенность мехатроники, управления, всех видов ресурсов, технологий производства и распределения энергии постоянно растет, что требует дополнительных усилий по изучению новых нарождающихся структур.

Очевидно, что показатели среднего мирового душевого производства электроэнергии в 2500 кВт·ч, не могут быть применены для России. В настоящее время наилучшие показатели в Норвегии – 30 тыс кВт·ч, Канаде – 16 тыс кВт·ч, США, Кувейте 14 тыс кВт·ч, Франции, Японии, Германии, Катаре – 10 тыс кВт·ч.

Нашими исследованиями на ИВК ДГСЭ установлена системная связь показателей дешевого производства электроэнергии с продолжительностью и уровнем жизни в странах типа Норвегии, Катара и т.п.

Вероятно важной закономерностью и идеальной технологией для России, по нашим исследованиям, является технология, включающая мобильные АЭС, солнечные системы и разумно модернизируемые ТЭС, ГЭС, а также другие возобновляемые источники энергии.

Определение условий реализации эффективных мехатронных гетероструктур с учетом социотехнических факторов при выработке управляющих решений может быть реализовано с использованием информационно-вычислительного комплекса ДГСЭ.

Примером такого подхода может быть решения по передвижным АЭС малой мощности в 2,5 МВт, эксплуатируемым в районах мира, лежащими за пределами опасной с точки зрения бомбардировки метеоритными потоками зонами [1].

Другим примером – солнечные системы теплоснабжения.

Солнечные системы теплоснабжения обеспечивают экологическую чистоту в процессе производства тепловой энергии при минимальных требованиях к эксплуатации, при невысокой цене – до 60–250 долл. за м² коллектора и длительном сроке службы – до 15–20 лет.

В соответствии с данными Европейской федерации по солнечной энергии после принятия в ряде европейских стран стимулирующего законодательства, темпы ежегодного прироста числа солнечных коллекторов составляют 18...23 %, что позволило большинству стран ЕС перейти рубеж использования СК, составляющий 0,1 м²/чел. В настоящее время в Европе этот показатель находится в пределах 0,05...0,5 м²/чел., в США около 0,1 м²/чел.; наибольшие значения этого показателя на Кипре – 0,8 м²/чел. и в Израиле – 0,6 м²/чел.

Ведущие позиции как в разработке систем гелиотепло-потребления, так и в промышленном производстве коллекторов солнечной энергии занимают: США (выпускается более 1,6 млн м² коллекторов в год и более 18 млн м² коллекторов уже введено в эксплуатацию); страны Западной Европы и Японии (соответственно введено в эксплуатацию 5,9 млн м² и 11 млн м² гелиоколлекторов).

Промышленным производством коллекторов солнечной энергии занимаются в основном средние и мелкие фирмы, которых, например, только в США насчитывается более двухсот. Основные усилия фирм-разработчиков направлены на улучшение технико-экономических показателей за счет снижения себестоимости коллектора при высоких теплофизических показателях, на снижение материалоемкости и увеличение срока службы. Германия, Китай пошли по пути централизованного выпуска поглотителей тепловой энергии из алюминиевой и медной фольги, что позволяет снизить себестоимость их изготовления на 20 %.

В год продается солнечных коллекторов: Бельгия – 3800 м², Израиль – 180 000 м², Финляндия – 500 м², Франция – 3000 м², Австрия – 197 000 м², Германия – 350 000 м², Греция – 150 000 м².

В странах ЕС в 2020 г. планируется продажа 25 млн м² солнечных коллекторов.

Выводы

Системный анализ информации по динамике мехатронных гетероструктур электроэнергетики позволил установить новые нетривиальные связи и закономерности динамики гетероструктур. При нарастающей гетерогенности структур социотехносферы, главные из которых, вероятно, следуют с переходом из линейной в циклическую экономику – без роста ВВП, но с усиливающимся расслоением как между странами, так и внутри стран [1].

Фундаментальной закономерностью процессов, протекающих в мехатронных гетероструктурах является закономерность снижения надежности из-за поверхностных нанотрещин по границам гетероструктур [10, 11].

Разработанный информационно-вычислительный комплекс ИВК ДГСЭ позволяет определить условие реализации эффективных мехатронных гетероструктур с учетом важнейших социотехнологических факторов при выработке управляющих решений.

По результатам исследований с применением ИВК ДГСЭ определены конкурентоспособные экспортноэффективные энергетические системы с надежными мехатронными гетероструктурами.

На наш взгляд, это энергосистемы малой мощности, адаптивной конфигурации для той или иной конкретной социотехносферы в той или иной стране мира.

Библиографический список

1. Компетентность: интеллектуальный выбор молодых / О. В. Кузнецова, Д. В. Артамонов, В. В. Смогунов и др. ; под ред. В. А. Мещерякова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2010. – 188 с.
2. Половинкин, В. Н. Эволюция мировой энергетики / В. Н. Половинкин, А. Б. Фомичев // Атомная стратегия. 2011. – URL: <http://www.proatom.ru>.
3. Алферов, Ж. И. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики / Ж. И. Алферов, В. М. Андреев, В. Д. Румянцев // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Т. 38, вып. 8. – С. 937.
4. Динамика гетерогенных структур. Т. 3. Моделирование гетероструктур преобразователей информации / В. В. Смогунов, В. А. Васильев, Н. И. Волчихина ; под ред. В. В. Смогунова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 467 с.
5. Динамика гетерогенных структур. Т. 1. Эволюция ракетно-космических гетерогенных структур / В. В. Смогунов, М. И. Степанов, И. П. Климинов и др. ; под ред. В. В. Смогунова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – 311 с.
6. Динамика гетерогенных структур. Т. 4. Динамика микроэлектронных датчиков / П. Г. Михайлов, И. В. Волчихин, В. В. Смогунов ; под ред. В. В. Смогунова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 621 с.
7. Динамика гетерогенных структур. Т. 5. Виброзащита гетероструктур / О. А. Вдовикина, М. И. Вольников и др. ; под ред. В. В. Смогунова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 437 с.
8. Евсеева, Ю. И. Разработка математического и алгоритмического обеспечения для системы структурно-параметрического синтеза трехмерных адаптивных приложений / Ю. И. Евсеева. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – 20 с.
9. Динамика гетерогенных структур. Т. 2. Фундаментальные модели / В. В. Смогунов, О. А. Вдовикина, Н. Я. Карасев и др. ; под ред. В. В. Смогунова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002. – 598 с.
10. Хади, О. Ш. Конструкторско-технологические аспекты проектирования микросборок, работающих при динамическом нагружении / О. Ш. Хади, А. Н. Литвинов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 41–48.
11. Кочегаров, И. И. Особенности исследования динамических характеристик печатных узлов в двухмерных задачах / И. И. Кочегаров, Г. В. Таньков, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2 (14). – С. 13–23.

Смогунов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра теоретической и прикладной механики
и графики,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tmpg@pnzgu.ru

Кузнецов Никита Сергеевич

студент,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tmpg@pnzgu.ru

Юрков Николай Кондратьевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: yurkov_NK@mail.ru

Smogunov Vladimir Vasilyevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of theoretical
and applied mechanics and graphics,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Kuznetsov Nikita Sergeevich

student,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Yurkov Nikolay Kondrat'evich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radio equipment
design and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Аннотация. Приведены результаты системного анализа информации о современных мехатронных гетерогенных структурах энергетики, используемых в разнообразных энергетических комплексах. Проведено математическое моделирование нестационарных тепловых полей, на основе которого получены новые нетривиальные связи и закономерности динамики гетероструктур. Разработан информационно-вычислительный комплекс, базирующийся на пакетах Data Mainning, и развитый новыми средствами построения гиперграфовых моделей и алгоритмов автоматического ситуационного выбора эффективных конфигураций при выполнении адаптивных приложений. Доказана гетерогенность мехатроники, управления, а также всех видов ресурсов, технологий производства и распределения энергии. Установлены закономерности эволюции мировой энергетики и электроэнергетики. Определены условия реализации эффективных мехатронных гетероструктур с учетом важнейших социотехнологических факторов при выборе управляющих решений.

Ключевые слова: мехатронная гетероструктура, динамика, информационно-вычислительный комплекс, энергетика, электроэнергетика, технологии производства энергии, социотехнологический фактор.

Abstract. The results of system analysis of information about modern mechatronics heterogeneous structures of energy used in various power complexes. Mathematical modeling of thermal fields nestatsionarnykh on the basis of which obtained new non-trivial communication patterns and dynamics in heterostructures. Developed information-computational complex based on the packet Data Mainning, and developed new means of constructing hypergraph models and algorithms of automatic situational choice of efficient configurations when running adaptive applications. Proven heterogeneity of mechatronics, control, and all kinds of resources, technologies of production and distribution of energy is constantly increasing. The regularities of the evolution of world energy and electricity. The conditions for the effective implementation of mechatronic heterostructures taking into account the major social and technological factors in the selection and control decisions.

Key words: mechatronic heterostructure, dynamics, information and computing center, energy, electricity, technology, energy production, social and technological factor.

УДК 531.3:681.2

Смогунов, В. В.

Модели динамики гетероструктур электроэнергетики / В. В. Смогунов, Н. С. Кузнецов, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3 (19). – С. 25–32. DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-4.