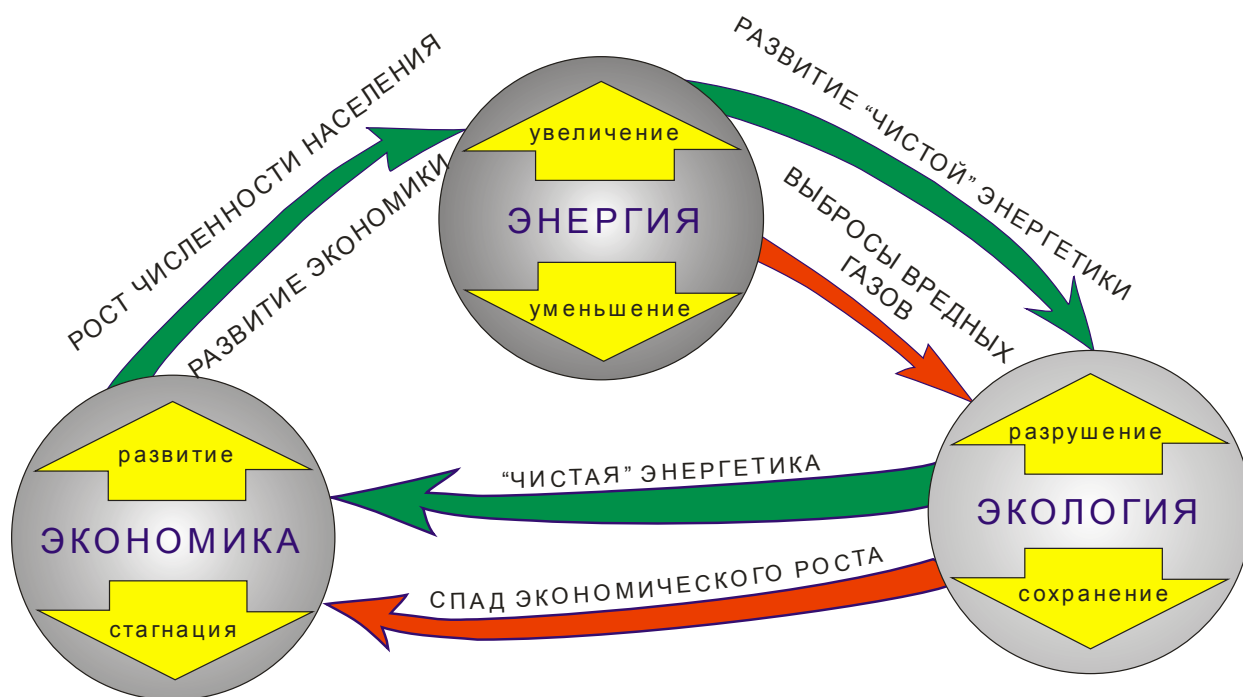


Лекция 1

Введение

Обеспечение роста экономического благосостояния любого современного государства приводит к непрерывному наращиванию потребления энергии. Такой сценарий развития энергетики привел к ряду отрицательных последствий. В результате специалисты пришли к осознанию наличия глобальной энергетической проблемы, что заставило пересмотреть экстенсивный путь развития энергетики как единственный способ улучшения жизни человечества. Как результат, в 21 веке глобальная стратегия развития энергетики, а следовательно и всей цивилизованной жизни на Земле, строится исходя из признания существования так называемой *3Э-трилеммы* (см. диаграмму ниже), которая устанавливает взаимосвязь между развитием экономики, энергетики и экологии. При развитии цивилизации по стандартному капиталистическому пути для активизирования



экономического развития (Э: Экономика) необходимо увеличивать расход (а следовательно, и производство) энергии (Э: Энергетик). Однако это создает серьезные экологические проблемы (Э: Экология) вследствие увеличения выбросов вредных веществ в окружающую среду. И наоборот, если политический выбор государств и мирового сообщества в целом направляется на снижение вредных выбросов, это тормозит развитие экономики. В этом и состоит суть 3Э-трилеммы!

Естественным способом разрешения этой трилеммы, который снижает нагрузку на экосистему Земли и не приводит к ухудшению уровня жизни людей, является повышение

эффективности использования энергии, в том числе за счет *усовершенствования энергетических технологий*, включая развитие экологически чистых технологий производства, передачи, трансформации, хранения и использования энергии, а также *энергосбережения*. В результате такого подхода, начиная с 70-ых годов в развитых странах мира (США, Канада, Германия, Франция, Голландия и др.) отношение валового национального продукта (ВНП) в сопоставимых ценах к уровню потребления энергии стало непрерывно возрастать (тогда как в первой половине прошлого столетия оно оставалось примерно постоянным). Одна из причин, приведших к этой тенденции, состоит в перераспределении роли разных видов производства и услуг в экономике современных государств. К примеру, возникшие новые виды техники и технологий характеризуются сравнительно низкими уровнями потребления энергии. Это, в первую очередь, касается высоко интеллектуальных информационно-коммуникационных технологий, таких как вычислительная техника, телекоммуникационное оборудование, мобильная телефония и многие другие. В то же время, именно доля этих продуктов выросла наиболее существенно на рынке продуктов и услуг. Сфера обслуживания как важный и быстро растущий сектор экономики также не является такой энергоемкой, как, например, обрабатывающая промышленность, транспорт, строительство, коммунальное или сельское хозяйство.

Другой очевидной причиной является то, что решению сформулированной 3Э-трилеммы способствует разработка новых или существенное улучшение потребительских свойств уже существующих материалов, без чего невозможно как создание современных энергоэффективных технологий, так и энергосбережение. *Материалы могут влиять не только на стоимость производства, передачи и трансформации энергии, но и на эффективность (рациональность) ее потребления.* Во многих секторах экономики эта эффективность все еще низка. Для жилищного и торгового секторов экономики многих государств характерна эффективность в 65-70 %, которая следует из простого отношения тепла, испускаемого отопительными системами, к содержанию энергии в используемом топливе. Однако общая термодинамическая эффективность отопления или кондиционирования зданий, на самом деле, оказывается еще ниже - 10-20 %. В транспортном секторе этот показатель также равен 10-15 %. Промышленный сектор является наиболее экономным потребителем энергии, поскольку здесь эффективность колеблется от 10 до 35 %. В целом во всей экономике эффективность потребления энергии во многих странах не превышает 20 %.

Такая относительно низкая эффективность использования энергии при создании продукции и услуг объясняется как невысокими КПД самих технологий (по-крайней,

большинства из них), так и потерями на пути использования произведенной энергии. Рассмотрим, например, различные стадии процесса, при котором химическая энергия нефти преобразуется в механическую работу движения автомобиля. Стадии добычи сырой нефти, ее переработки с целью получения бензина и его последующей транспортировки относительно эффективны, поскольку в целом поглощают не более 20 % всей энергии, содержащейся в нефти. В результате остаток равен 80 %. На следующей стадией - Общая эффективность на стадии сжигания бензина в двигателе внутреннего сгорания автомобиля оставляет от этих оставшихся 80 % энергии не более 25-30 %, поскольку КПД двигателя не превышает 30-35 %. Возникающие при передаче вращения от двигателя на колеса и при взаимодействии колес с дорожным покрытием дополнительные механические потери приводят к тому, что в конечном счете лишь около 10 % всей энергии, заключенной в сырой нефти, расходуется на перемещение автомобиля.

Поэтому в мире постоянно идет борьба за увеличение эффективности производства и потребления энергии путем оптимизации конструкций энергетических установок и их частей, создания более энергоэффективных технологий использования энергии, в том числе, за счет улучшения функциональных свойств специальных материалов. Например, для повышения эффективности тепловых турбин необходимо повышать температуру пара. С этой целью следует использовать либо керамические лопатки на основе нитрида или карбид кремния либо специальные композиционные материалы, которые могут выдерживать температуры свыше 1200 °С.

Другая принципиальная возможность повышения КПД энергетических установок, например, электрических систем, лежит в понижении рабочих температур. Например при замене обычных электрических проводов из алюминия и меди на сверхпроводниковые, последние при низких температурах будут терять свойство электрического сопротивления. Сверхпроводящие кабели, в которых токонесущие сверхпроводящие жилы охлаждаются ниже критической температуры (при которой данный материал и становится сверхпроводником), могут заменить воздушные линии электропередач с громоздкими мачтами и передавать энергию с меньшими потерями. Дополнительные затраты на их охлаждение могут быть оправданы на территории больших городов (то есть на относительно небольших расстояниях) или там, где устройство воздушных линий электропередач запрещено.

Роль новых материалов в энергетике и энергосбережении

Влияние материалов на использование энергии проявляется еще и в том, что они могут повышать надежность и безопасность производства и преобразования энергии. Надежность является результатом хорошего проектирования, а также тщательного анализа и предварительных испытаний и основывается на понимании того, как ведут себя используемые материалы при рабочих условиях (температурах, давлении, радиации, механических и химических воздействиях и т.д.). Значение фактора безопасности в энергетике неуклонно возрастает, и в будущем энергетика должна стать в полном смысле слова безаварийной.

Безопасная технология необходима, например, для организации длительного хранения радиоактивных отходов. Общепринятая стратегия в этой области предусматривает три последовательные операции. Сначала удаляемый материал инкорпорируется в относительно нерастворимое твердое вещество, затем это вещество заключается в герметичный высокопрочный контейнер, и лишь затем производится захоронение контейнеров в местах, где существует сухая и стабильная геологическая структура. Для первых двух операций требуется разработка специальных материалов, которые не допускают утечек радиоактивных веществ, в том числе под влиянием влажности и механических воздействий.

Например, показано, что боросиликатное стекло прекрасно капсулирует радиоактивные отходы, т.е. может служить подходящим материалом для первой из описанных выше операций. Идут поиски стабильных керамических материалов в качестве ловушек для радиоактивных атомов (например, в виде смеси минералов включающих оксиды титана и циркония). Природные виды этих минералов абсолютно нерастворимы и, как установлено, могут удерживать атомы радиоактивных элементов, включая уран и торий, в течение сотен миллионов лет. Однако проблема состоит в том, чтобы разработать материалы, пригодные для стабилизации смесей не только радиоактивных элементов, но и их смесей с другими химически активными элементами, входящими в различные виды отходов.

На второй стадии захоронения радиоактивных отходов нужно обеспечить непроницаемую преграду между отходами и окружающей геологической средой хранилища. В настоящее время в качестве материала для оболочек используют специальный титановый сплав, на поверхности которого в воздушной атмосфере образуется оксидная пленка, защищающая его от коррозии.

Влияние новых материалов на повышение эффективности энергетических процессов и технологий

В данном курсе рассматриваются материалы, которые используются не только собственно в энергетике, но также и те, которые способствуют повышению энергоэффективности используемых технологий и энергосбережению (в том числе, например, используемые в датчиках и сенсорах систем контроля). В соответствии со структурой данного курса, он состоит из трех разделов - Строение и свойства неметаллических материалов для энергетики и энергосбережения; Материалы, используемые в нетрадиционной энергетике и ВИЭ; Энергоэффективные материалы ограждающих конструкций

Такое построение курса обусловлено тем, что при реализации ядерно-энергетических технологий, для обеспечения повышения энергоэффективности в тепло- и электроэнергетике и тепловых контурах ядерных станций, а также при разработке новых энергосберегающих технологий необходимо использовать материалы, которые должны обладать набором особых (часто взаимоисключающих друг друга) функциональных свойств.

Тот вклад, который внесло и продолжает вносить материаловедение в повышение эффективности извлечения, преобразования, передачи, хранения и использования энергии, является решающим для экономики. Можно надеяться, что дальнейшие достижения материаловедения обеспечат получение и потребление энергии в количествах, обеспечивающих непрерывный рост экономического благосостояния во всем мире (на фоне возрастания народонаселения Земли) и одновременно снижение экологической нагрузки на окружающую среду. Однако для этого нужно точно понимать, какие требуются виды материалов и какими свойствами они должны обладать. Следует отметить, что разные области энергетики предъявляют разные требования к новым материалам. В приводимой ниже таблице они сгруппированным по классам (см. верхний ряд в таблице) в зависимости от областей энергетических технологий, которые представлены в левой колонке таблицы. Эти требования определяются такими факторами как возникающие в процессе работы механические напряжения, температура, давление, химический состав рабочей среды, радиация и др., которые воздействуют на работу частей ядерно-энергетических установок, а также тепловых и электрических агрегатов АЭС и теплоэлектростанций.

Накапливаемые в процессе работы деталей и узлов механические напряжения могут приводить к их деформации, вызывая появление микротрещин в материале и выводя изделия из строя (в том числе, вследствие коробления, разрушения и т.п.).

Температурный диапазон работы современных материалов энергетики очень широк и лежит в диапазоне от - 269 до 2500 °С. Для обеспечения работоспособности при высоких

температурах от материала требуется жаропрочность, тогда как при работе в области низких температур он должен обладать хладостойкостью. К примеру, оборудование, используемое при добыче топлива (бурильное, электроника), а также в геотермальных системах (трубопроводы для геотермальной жидкости), должно выдерживать высокие температуры в земной коре и агрессивность подземных вод.

Среда, в которой работает изделие, может быть жидкой, газообразной, ионизированной, химически агрессивной или нейтральной, радиоактивной и т.д. Поэтому внешняя среда часто оказывает отрицательное влияние на механические и другие свойства материалов, снижая работоспособность изделий. В частности, рабочая среда может вызывать повреждение поверхности вследствие коррозионного растрескивания и окисления (образования окалины), приводить к изменению химического состава поверхностного слоя детали в результате насыщения нежелательными элементами (например, водородом, который приводит к повышению хрупкости многих материалов). Кроме того, в результате действия ядерных и других ионизирующих излучений возможно распухание и локальное разрушение материала.

Для того чтобы противостоять действию рабочей среды, материал должен обладать не только высокими механическими, но и другими важными физико-химическими свойствами, такими как стойкость к электрохимической коррозии, жаростойкость, устойчивость к химической коррозии, радиационная стойкость, влагостойкость, способность работать в условиях вакуума и др.

В некоторых применениях (электрические машины, системы передачи электроэнергии, трансформаторы и т.д.) материалы должны обладать особыми магнитными и электрическими свойствами. В ряде случаев, когда требуется высокая стабильность размеров узлов и механизмов (особенно высокоточных деталей и приборов контроля) в условиях эксплуатации, материал должен обладать тепловыми свойствами, очень слабо зависящими от температуры.

Значительная часть материалов энергетики и энергосбережения формируются на основе чистых металлов и металлических сплавов. Этот вид материалов используется как в тепло- и электроэнергетике, так и в ядерных энергетических установках. Многие из них применяются для обеспечения прочности различных силовых конструкций и агрегатов, в том числе при воздействии высоких или низких температур, химически агрессивных газовых или жидких сред, а также широкого спектра радиационных воздействий. Необходимы металлические материалы с особыми тепловыми свойствами – высокотеплопроводящими (например, в тепло-обменниках) и низкотеплопроводящими (в криогенных системах), низким или наоборот высоким коэффициентом теплового

расширения и др. Для эффективной работы электрических агрегатов, управляющих датчиков (сенсоров) измерительных электро-приборов в системах контроля и управления нужны металлы и сплавы с особыми электрическими, магнитными и диэлектрическими характеристиками (высоко или низкоэлектропроводящими, слабо или сильно магнитными, сверхпроводящими).

В то же время, в ряде узлов АЭС и теплоэлектростанций нельзя обойтись без неметаллических материалов. К ним относятся, в первую очередь, природные минералы (такие как камень и песок, руды), а также дерево. Песок, камень и дерево часто используются при создании разного рода ограждающих конструкций, например, стен, крыш, полов, дверей и окон зданий. Еще больше материалов со специальными свойствами получают искусственными способами. К ним относятся керамики (кирпич, бетон), композиты (смеси разнородных веществ), стекла, а также полимеры.

Для понимания того, для каких целей и каким образом можно использовать такой широкий круг современных материалов, необходимо глубокое понимание взаимосвязи между протекающими в материалах физическими явлениями, эффектами и процессами, характером сформированной при их получении фазовой структуры и теми физико-химическими свойствами, которые эти материалы приобретают в процессе синтеза. Именно этому и посвящен данный курс.

Таблица

	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	КЕРАМИКА	ПОЛИМЕРЫ	КОМПОЗИТЫ	МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ С ОСОБЫМИ СВОЙСТВАМИ
ДОБЫЧА ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА	ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	ТВЕРДЫЕ БУРОВЫЕ ГОЛОВКИ	САЛЬНИКИ И УПЛОТНЕНИЯ		КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ
ОБОГАЩЕНИЕ ТОПЛИВА		КАТАЛИЗАТОРЫ			КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ
ОБОГАЩЕНИЕ И СЖИГАНИЕ УГЛЯ		КАТАЛИЗАТОРЫ; ИЗНОСОСТОЙКАЯ КЕРАМИКА		ИЗНОСОСТОЙКИЕ КОМПОЗИТЫ	
ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА	РАДИАЦИОННОСТОЙКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	ИММОБИЛИЗАТОРЫ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ; ИЗОЛЯТОРЫ ПЛАЗМЫ			КОНТЕЙНЕРЫ ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ; ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ РАДИАЦИОННОСТОЙКИЕ СПЛАВЫ
ПРОИЗВОДСТВО И ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	СВЕРХПРОВОДНИКИ	ДЕТАЛИ ТУРБИН	ИЗОЛЯТОРЫ		ЛОПАТКИ ТУРБИН
					ЭЛЕМЕНТЫ ПАРОВОГО КОНТУРА
СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА	ДЕШЕВЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ СВЕТОФИЛЬТРЫ	ОБОЛОЧКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ		
ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА	ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА				КОРРОЗИОННОСТОЙКИЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ
СОХРАНЕНИЕ И НАКОПЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ	ЭФФЕКТИВНЫЕ МАГНИТЫ	ЭЛЕМЕНТЫ теплообменников ТЕПЛООБМЕННИКОВ	ЛЕГКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	ЛЕГКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СПЛАВЫ
	ЭНЕРГОУПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ				ПЕРЕРАБОТКА

