

## XVII Термоэлектрический форум

Очередной XVII Международный термоэлектрический форум состоялся 15–18 мая 2017 года в Белфасте (Северная Ирландия). Его организаторами были Международная термоэлектрическая академия (ITA) и Queen's University of Belfast.

Кратко напомним нашим читателям, что академия была создана в 1994 году. На сегодняшний день она объединяет около 80 ведущих специалистов из 28 стран, работающих в области термоэлектрического преобразования энергии. Основные направления деятельности академии: поиск новых, более эффективных термоэлектрических материалов, исследование их свойств, разработка промышленных технологий производства этих материалов и модулей на их основе, практическое применение термоэлектричества, в том числе генерация электрической энергии, термоэлектрическое охлаждение и нагрев, термометрия.

В последние годы каждый форум был посвящён одному из учёных-основателей термоэлектрической науки. В 2013 году форум в Таллинне был посвящён жившему и работавшему там немецкому физика Томасу Зеебеку. Следующий форум в 2015 году в Париже — открывателю эффекта термоэлектрического охлаждения и нагрева — Жану Пельтье. Форум

2017 года связан с именем знаменитого физика Уильяма Томсона (лорд Кельвин), который родился и начинал свою научную карьеру в Белфасте. Всему миру известны его работы в области математики, электростатики, термодинамики, криогеники. Менее известен широкому читателю его фундаментальный вклад в развитие теории термоэлектричества. Томсон в 1855-1856 годах, уже работая в университете в Глазго, впервые провёл термодинамический анализ ранее открытых термоэлектрических эффектов, установил связь между коэффициентами Зеебека и Пельтье и теоретически предвидел эффект, который позднее был назван его именем. Написанная в те же годы его работа по термоэлектричеству “Electrodynamical Qualities of Metals” знаменита также тем, что инициировала первые в Великобритании экспериментальные работы студентов и создание лаборатории по физике в университете Глазго.

Форум проходил в красивейшем главном зале университета Белфаста (см. фото).





Было представлено 55 пленарных и 36 стендовых докладов. Невозможно не отметить рост международного авторитета академии: если ещё 10–15 лет назад большинство докладчиков представляли бывшие республики СССР, то сейчас их удельный вес сократился до одной третьей. Всё заметнее становится роль, которую играют учёные и организации из Китая, Японии, Индии, Германии и других стран. По традиции итоги работы форума в заключительном докладе подвёл Президент ИТА академик НАН Украины **Лукьян Иванович Анатычук**. Кроме общения, обмена опытом и информацией встречи «на высшем уровне» термоэлектрического сообщества призваны сформулировать перспективные направления развития отрасли, выявить проблемы и слабые места, показать, как сделать термоэлектрическую науку и практику более конкурентоспособной. В отличие от предыдущих форумов, нынешний доклад Президента ИТА оптимизмом не отличался.

— Развитие происходит хаотически. Термоэлектрические проекты из-за низкой энергетической эффективности всё чаще проигрывают гранты и конкурсы своим конкурентам. В первую очередь имеются в виду генераторы. КПД паровых машин на уровне 13–15%, хоть и сравнительно низкий, но примерно в два раза выше, чем у термоэлектрического генератора. Что можно им противопоставить?

Ниже тезисно изложены основные идеи и рекомендации своим коллегам, которые прозвучали в докладе Л.И.Анатычука.

1. Компьютеризация термоэлектричества. На уровне термоэлектрических модулей всё выглядит довольно прилично, есть программы и для теплообменников. Теперь должны появиться компьютерные программы, которые бы позволили оптимизировать термоэлектрические материалы. Начиная от ячеек, далее переходя к кристаллам и дальше к материалам. Сейчас всё делается экспериментально. Мы теряем на этом очень много времени. Кто будет владеть такими компьютерными технологиями, тому будет гарантирован успех.
2. Плачевно состояние дел в генераторах для транспорта. Речь идёт об использовании тепла выхлопных газов. Работы, которые велись на протяжении последних 10 лет, успеха не имели. Ничего не внедрено по причинам изложенным выше. Для бензиновых двигателей верхние температуры генерации всего 300-350°C, для дизельных двигателей ещё ниже – 200-250°C. С паровым циклом, у которого КПД 15%, конкурировать невозможно. Но в интервале 100-250°C КПД паровых машин падает, они становятся дорогие и громоздкие. Чтобы успешно конкурировать, цена электричества, производимого термо-электрическим генератором (ТЭГ), должна находиться в границах 0,2...0,5 \$/Вт. При более высокой цене у ТЭГ нет шансов.
3. Ещё о генерации. Температурные «хвосты» сжигания углеводородов находятся на уровне всего 80°C. В этом температурном диапазоне ТЭГ должен иметь КПД 5%. При этом мы сможем получить суммарную мощность  $1,5 \times 10^{12}$  Вт, что сопоставимо с мощностью всех атомных электростанций.
4. Созданный в Японии первый ТЭГ на энергии океана (разность температур на поверхности и глубине 3 км – **прим. автора**) тратил всю свою генерируемую мощность на перекачку воды. Но здесь входит в силу

масштабный фактор. При мощности более 5 кВт такая станция становится экономически целесообразной, хотя её КПД составляет всего 0,2–0,5%, а плотность теплового потока равна 1–2 Вт/м<sup>2</sup>.

5. Много работ посвящено эффективности «экзотических» материалов, которые не конкурентоспособны из-за их стоимости, которая в свою очередь связана с ничтожными запасами этих материалов на Земле.
6. Определённым сдерживающим фактором в проектировании ТЭГ является ресурс работы. Но всегда ли этот ресурс должен быть большим? Нет, не всегда. Например, для автомобилей ресурс может быть меньше 10 000 часов. Снижая требования к ресурсу, можно добиться снижения стоимости генератора. Мы (*Институт термoelectricity НАН и Минобразования Украины и ИТА – прим. автора*) берём на себя обязательство сформулировать требования к материалам для автомобильных генераторов, что должно существенно ускорить и упростить работу исследователей этих материалов.
7. Президент ИТА оценил состояние дел в термоэлектрическом охлаждении, как самое благополучное среди всех направлений применения термоэлектричества. Возможно, именно поэтому одной из наград ИТА были отмечены достижения именно в этом направлении (см. ниже).
8. Миниатюризация термоэлектрических модулей. Теоретики в области термоэлектричества оказались не подготовлены к новым вызовам. Возникающие в микромодулях большие градиенты температур требуют ответа, насколько применима тут классическая термодинамика. Наши знания о физике контактов пока недостаточны.
9. «Все молятся на известную каждому термодинамику». Созданная нами обобщённая теория показывает, что есть десятки других потенциально лучших вариантов. Например, в качестве ветви термоэлемента

можно использовать пористый материал, чтобы теплоноситель проходил по высоте термоэлемента в каналах этого материала. «Физика показывает», что можно улучшить энергетические показатели в 1,7 раза. Пока этой возможностью никто не заинтересовался, хотя первые статьи на эту тему опубликованы 6 лет назад.

10. Измерительная техника. В современном мире информация становится важнее, чем сама энергия. Эффективность измерительных систем может быть увеличена на 2 порядка!!!

Ну, не всё так плохо! Одна из старейших отраслей холодильной техники (Да-да! Эффект Пельтье был открыт в том самом году – 1834, когда Якоб Перкинс запатентовал первую компрессорную холодильную машину на этиловом эфире), хоть и переживает трудные времена, но сдавать свои позиции совсем не собирается. Свидетельством тому является Почётный золотой приз ИТА в номинации «За выдающиеся достижения в термоэлектричестве», который получил ваш покорный слуга **Филин Сергей Олегович** из рук Президента ИТА под памятником Кельвину в университетском ботаническом саду. Созданные кол-



лективом кафедры кондиционирования и холодильного транспорта Западно-поморского технологического университета в Щецине транспортные стационарные холодильники и холодильные витрины по своим энергетическим параметрам являются лучшими в мире в своём классе, а некоторые из них даже превосходят компрессорные аналоги.

Две другие награды были присуждены:

- д.ф.-м.н., профессору Технического университета Молдовы **Касьяну Анатолию Иррадионовичу** за фундаментальный вклад в теорию термоэлектричества, в частности создание и исследование органических термоэлектрических материалов;
- к.т.н. **Пустовалову Алексею Антоновичу**, генеральному директору закрытого акционерного общества научно-производственного предприятия БИАПОС (Москва), за разработку термоэлектрических генераторов труднодоступных для обслуживания, которые использовались на российских и американских космических межпланетных станциях.

До сих пор такие награды получили всего 13 учёных и 17 фирм со всего мира. Позолоченная богиня Афина символизирует мудрость, согласно древнегреческим мифам, она является покровительницей наук.

На своём общем собрании после окончания форума академия избрала новых членов. Стало больше и вице-президентов. Новым вице-президентом ИТА был избран представитель Индии г-н S. Chatterjee. Тем самым руководство ИТА подчеркнуло возрастающую роль Индии в развитии термоэлектричества в Азии.

Настоящей изюминкой форума стал стендовый доклад **В.В.Разицькова** (ИТЭ, г. Черновцы) под интригующим названием «*Могло ли термоэлектричество спасти Титаник?*». В заключительный день его доклад был кратко озвучен Президентом ИТА. Интерес местных жителей к судьбе Титаника не случаен. Титаник был построен на верфи в Белфасте. Поэтому здесь относятся ко всему, что связано с этим судном, с особым пиететом. В городе

функционирует музей, где собраны многочисленные документы, элементы судна и личные вещи пассажиров. А при чём здесь термоэлектричество?

Во время строительства Титаника в Белфаст приехали два немецких изобретателя, которые запатентовали в 1901 году термоэлектрический тепловой датчик (прообраз современной термокамеры), способный обнаружить в океане айсберг на расстоянии 8 км. Изобретатели предложили владельцам Титаника купить их патент и установить датчик на судно. Увы, встретились с отказом:

— *Наш корабль самый непотопляемый в мире. Даже, если четыре отсека заполнит вода, корабль не потеряет плавучесть.*

Матросы, дежурившие в ту трагическую ночь на марсовой площадке, обнаружили айсберг на расстоянии 600 метров. Этого было недостаточно, имея в виду огромную инерционность судна. Капитан отдал команду резко свернуть влево, но столкновения избежать не удалось. Айсберг прошёл обшивку правого борта судна на длине более 90 метров. Было повреждено 5 отсеков. В результате судно медленно пошло ко дну. По различным данным погибло от 1500 до 1635 человек. Так могло ли термоэлектричество спасти Титаник? Похоже, что да...

Следующий XVIII термоэлектрический форум состоится в мае 2019 года в Киеве. На Украине родился академик Абрам Фёдорович Иоффе – ещё одна особо значимая фигура в истории термоэлектричества. Благодаря его открытию полупроводников в 30-х годах минувшего века до той поры теоретическая термоэлектрическая наука обрела крылья и стала полноправным участником холодильной (и не только) индустрии. На родине А.Ф.Иоффе – городе Ромны Сумской области состоится выездное заседание ИТА и планируется открытие памятника выдающемуся учёному.

**С.О.Филин,**

Западнопоморский технологический университет в Щецине, Польша