

## Атомная энергетика: За? Против? Воздержимся?



**Крайне высокотехнологичная и наукоемкая отрасль фактом своего существования способствует не только достижению своей прямой цели - производства электроэнергии, но способствует развитию научного знания, концентрации усилий на прорывных направлениях исследований в различных областях, начиная от материаловедения и заканчивая экологией. Иван Ющенко рассуждает о плюсах и минусах атомной энергетики сегодня.**

### Атомный котел

Как только человечество в лице своих передовых ученых немного разобралось с тем, что такое самоподдерживающаяся цепная реакция, оно придумало, как ее применить к делам практическим. Прежде всего, к изготовлению атомной бомбы. Но также, будем справедливы, и к производству электроэнергии при помощи ядерных реакторов, где реакция деления происходит не лавинообразно, а контролируемо, в результате чего получается определенное количество тепла. Тепло это нагревает воду, а вода превращается в пар, который вращает турбины электрогенераторов. Энергия поступает в электрическую сеть. Это предельное упрощение, голый скелет принципа действия АЭС. Но нет смысла вдаваться здесь в подробности конструктивного устройства разных типов реакторов. Главное, что 3 сентября 1948 г. в Ок-Ридже, штат Теннесси, США, впервые экспериментально запитали электрическую лампочку от ядерного реактора. А в 1954 г., 27 июня, в СССР, в городе Обнинске Калужской области, была запущена в промышленную эксплуатацию первая в мире атомная электростанция, подключенная к общей электрической сети. Стало быть, у нас было больше полувека, чтобы познакомиться с мирным атомом и поразмыслить, что к чему. Первое, что надо сказать: мирный атом - это в принципе хорошо, и как противоположность атому военному, и по другим причинам.

Ах, хорошо!

Большущий плюс атомных электростанций? В мировом масштабе. Честно? Им не страшны колебания цен на нефть, уголь и газ.

Кроме того, и сейчас это уже критически важно, электростанции, работающие на угле и природном газе, выбрасывают в атмосферу углекислый газ - это увеличивает парниковый эффект, способствует нагреву земной атмосферы, приводит к климатическим изменениям, дестабилизирует погоду, вызывает подъем уровня мирового океана, и так далее. На атомных электростанциях выбросы CO<sub>2</sub> ничтожны. И при текущем объеме энергии, производимом АЭС, в атмосферу не попадает дополнительных 555 миллионов тонн (а по другим данным, даже 2,2 миллиарда тонн) основного парникового газа.

Если говорить о загрязнении, дело не только в углекислом газе - радиоактивных выбросов при нормальном функционировании ядерной станции в атмосферу попадает в сто раз меньше, чем при работе электростанции на угле! Дело в том, что при сжигании угля получается летучая зола с высокой концентрацией урана и тория. Кроме того, ядерная энергия требует гораздо меньшего

количества топлива. Ядерное деление производит примерно в миллион раз больше энергии на единицу веса, чем ископаемое топливо.

Из важных экономических преимуществ (ни в коем случае нельзя забывать, что ядерная энергетика – это отрасль экономики, и не будь она выгодна, ее не было бы и в помине) следует учитывать низкую стоимость эксплуатации. Если не брать в расчет первоначальные затраты на строительство, ядерная энергетика – одно из наиболее экономически эффективных энергетических решений. Стоимость производства электроэнергии здесь намного ниже, чем на ТЭС, использующих газ, уголь или нефть, если только эти топливные месторождения не расположены совсем рядом со станциями (а ведь станции строят вдали от месторождений в густонаселенных, промышленных районах неслучайно – там они ближе к потребителю, что уменьшает потери электричества при транспортировке и снижает затраты на строительство ЛЭП).

Атомные станции – это источник энергии, на который можно рассчитывать, не принимая во внимание погодные условия, без оглядки на время суток, времена года, облачность, дождь, силу ветра и высоту волн. В отличие от таких «зеленых» решений, как солнечная и ветровая энергия, например. Что опять-таки обеспечивает хорошую отдачу от инвестиций. На ближайшие 70-80 лет разведанных запасов урана для станций на планете хватит. Это тоже обнадеживающий фактор. Конечно, в исторической перспективе такой отрезок времени может показаться не таким уж долгим, однако совершенствуются технологии более полного использования радиоактивного топлива. Строятся, в частности, реакторы на быстрых нейтронах. В их активной зоне нет замедлителей нейтронов, и спектр нейтронов близок к энергии нейтронов деления (~105 эВ), нейтроны этих энергий называются быстрыми, отсюда и название этого типа реакторов. Они превращают отработавшее ядерное топливо в новое топливо для АЭС, что дает возможность использовать его потенциал в 10 раз эффективнее (30% против нынешних 3%). Неудивительно, таким образом, что ядерная энергия широко используется для производства электричества. Мировым лидером по установленной мощности являются США. Доля АЭС составляет около 20% всей электроэнергии. В стране эксплуатируются 98 ядерных энергетических реакторов, расположенных в 30 различных штатах. В России доля атомной энергетики в общей выработке объединенных энергетических систем в 2020 году составила 20,28% (11 действующих АЭС, 38 энергоблоков общей установленной мощностью примерно 31 ГВт). Чрезвычайно большую долю имеет атомная электрогенерация в энергобалансе Франции – в данном вопросе эта страна опередила всех в мире – 70%! Поскольку энергию реакторы производят стабильно, при любой степени развития других возобновляемых источников энергии, сочетание их с АЭС выглядит очень перспективно.

И в свете этих недюжинных достоинств даже не кажется удивительным, что Чернобыльская атомная электростанция была полностью выведена из эксплуатации только... в декабре 2000 г., когда выключили последний работающий 3-й энергоблок. До этого в 1996-м заглушили энергоблок № 1, а энергоблок № 2 был остановлен в 1991 г. после очередной аварии. Но, к сожалению, навеки прославил Чернобыльскую атомную электростанцию имени Владимира Ильича Ленина энергоблок № 4, реактор которого взорвался в ночь с 25 на 26 апреля 1986 года. Логично будет с этого начать разговор о минусах ядерной энергетике.

Есть чего бояться

Авария на Чернобыльской АЭС стала всемирным шоком. До сих пор она считается самой крупной катастрофой в истории ядерной энергетике. В результате взрыва реактора четвертого энергоблока в окружающую среду было выброшено около 10 тонн радиоактивных веществ, в том числе изотопов урана, плутония, йода-131, цезия-134, цезия-137, стронция-90, суммарной активностью примерно 380 миллионов кюри. До четырех тысяч человек скончались от лучевой болезни и отдаленных последствий радиоактивного поражения. Облако, образовавшееся от горящего реактора, разнесло различные радиоактивные материалы, прежде всего радионуклиды йода и цезия, по большей части Европы. Наибольшие выпадения вблизи реактора отмечались на территориях Белоруссии, Российской Федерации и Украины. Из 30-километровой зоны отчуждения вокруг АЭС было эвакуировано все население – более 115 тысяч человек. Для ликвидации последствий были мобилизованы значительные ресурсы. За все годы более 600 тысяч человек участвовали в ликвидации последствий аварии. Именно после этой трагедии повсеместно усилились антиатомные настроения общественности. Именно после Чернобыля во многих странах заговорили о постепенном сворачивании программ по развитию ядерной энергетике и стали закрывать АЭС (правда, существенную роль в этом сыграли экономические и политические факторы, но сопутствующая риторика неизменно была «экологической»).

Однако же то, что мирный атом, греющий воду в котлах теплоэлектростанций, является ближайшим родственником не уютного рыбацкого костерка, над которым варится уха, а атомной бомбы, стало ясно очень рано. Аварии на предприятиях атомной энергетике внушают вполне оправданный страх человечеству. Вспомним некоторые из них, как широко известные, так и оставшиеся в тени. Для четкости картины не станем останавливаться на инцидентах вроде кыштымских (в 1948 и 1967 годах), связанных с военным предприятием «Маяк» и производством ядерного оружия, или крупнейшую аварию на комплексе по производству оружейного плутония «Селлафилд» в Британии (1957). Не станем также подробно рассматривать происшествия на АЭС, не сопровождавшиеся утечками радиации, вроде семичасового пожара на АЭС «Браунз-Ферри» в США, когда чудом удалось не допустить радиационной аварии. Возьмем только основные происшествия с утечками.

Первая в мире серьезная авария на атомной электростанции. 12 декабря 1952 года. Канада, провинция Онтарио, Чок-Ривер. Техническая ошибка персонала привела к перегреву и частичному расплавлению активной зоны. Тысячи кюри продуктов деления попали во

внешнюю среду, а около 3 800 кубических метров радиоактивно загрязненной

воды было сброшено прямо на землю, в мелкие траншеи неподалеку от реки

Оттава. (Любопытная деталь: в составе команды, занимавшейся дезактивацией территории станции, работал будущий президент США Джими Картер, тогда – ядерный инженер-атомщик Военно-морского флота.)

17 октября 1969 года. Франция, АЭС «Сен-Лоран-дез-О». При перегрузке топлива на работающем реакторе оператор ошибочно загрузил в топливный канал не тепловыделяющую сборку, а устройство для регулирования расхода газов. В результате расплавления пяти тепловыделяющих элементов около 50 килограммов расплавленного топлива попало внутрь корпуса реактора. Произошел выброс радиоактивных продуктов в окружающую среду. Реактор был остановлен на год. Загрязнение не вышло за пределы АЭС, и население не было проинформировано в соответствии с политикой Électricité de France (инцидент не приводил к прямому ущербу людям, имуществу и окружающей среде). Тяжелый радиационный инцидент 4-го уровня по шкале INES.

В том же 1969 году – авария швейцарского подземного ядерного реактора в городке Люсанс (кантон Во), расплавление активной зоны. 5 баллов из 7 по шкале INES.

30 ноября 1975 года. СССР. На Ленинградской АЭС в Сосновом Бору произошло расплавление нескольких тепловыделяющих элементов в одном из технологических каналов, что привело к частичному разрушению активной зоны реактора первого энергоблока. Во внешнюю среду было выброшено 1,5 млн кюри радиоактивности. Инцидент третьего уровня по шкале INES.

22 февраля 1977 года. АЭС «Богунце» в Словакии. Авария при загрузке ядерного топлива на первом энергоблоке станции. Со свежей тепловыделяющей сборки не было удалено защитное покрытие, силикагель. Локальный пережог топливных оболочек и радиоактивные продукты деления попали в первый и второй контуры реакторной установки. Четвертый уровень по международной шкале ядерных событий (INES). После аварии было принято решение прекратить эксплуатацию блока А1, в основном по экономическим причинам: ремонт оборудования признали слишком затратным.

31 декабря 1978 года. СССР, Свердловская область, поселок Заречный, Белоярская АЭС. Пожар на втором энергоблоке АЭС, из-за падения плиты перекрытия машинного зала на маслобак турбогенератора. Выгорел весь контрольный кабель. Реактор оказался неуправляем. При подаче в него аварийной охлаждающей воды переоблучились восемь человек.

8 марта 1981 года. Япония, префектура Фукуи, город Цугура, АЭС «Цугура». Утечка около 15 тонн высокорadioактивной воды сквозь трещину в дне здания, где хранились отработавшие тепловыделяющие сборки. 56 работников подверглись радиоактивному облучению. Всего за период с 10 января по 8 марта 1981 г. там произошли четыре подобных утечки. При аварийно-восстановительных работах повышенное облучение получили 278 работников АЭС.

9 декабря 1986 года. США, штат Вирджиния, город Сарри, АЭС «Сарри». В результате коррозии трубопровода второго контура произошел выброс 120 кубических метров перегретых радиоактивных воды и пара. Восемь работников АЭС попали под кипящий поток. Четверо из них скончались от полученных ожогов.

21 января 1987 года. СССР, город Сосновый Бор, Ленинградская АЭС. Несанкционированное увеличение мощности реактора, приведшее к расплавлению 12 тепловыделяющих элементов, загрязнению активной зоны цезием-137 и выходу радиоактивных веществ за пределы АЭС.

22 декабря 1992 года. Россия, Свердловская область, Белоярская АЭС. Авария при перекачке жидких радиоактивных отходов на спецводоочистку. Из-за халатности персонала было затоплено помещение обслуживания насосов, а затем около 15 кубических метров радиоактивных отходов вытекло по специальной дренажной сети в водоем-охладитель. Суммарная активность цезия-137, попавшего в него, – 6 милликюри. Инцидент третьего уровня по международной шкале INES.

25 июля 1996 года. Украина, город Нетешин, Хмельницкая АЭС. Авария третьего уровня по шкале INES. Произошел выброс радиоактивных продуктов в помещения станции. Один человек погиб.

30 сентября 1999 года на заводе по изготовлению топлива для АЭС в японском городе Токаймура в результате ошибки персонала облучению подверглись 439 человек, 119 из них получили дозу, превышающую ежегодно допустимый уровень. Трое рабочих получили критические дозы облучения двое из них умерли.

10 апреля 2003 года. Венгрия, город Пакш, АЭС «Пакш». Во время плановых ремонтных работ на втором энергоблоке АЭС произошел выброс в атмосферу инертных радиоактивных газов и радиоактивного йода. Причина – повреждение топливных сборок при проведении химической очистки их поверхности в специальном контейнере. Авария третьего уровня по шкале INES.

9 августа 2004 года. Япония, остров Хонсю, префектура Фукуи, АЭС «Михама». Авария на АЭС, расположенной в 320 километрах к западу от Токио. Из лопнувшей трубы второго контура системы охлаждения третьего энергоблока вырвалась струя пара с температурой 270° и обварила рабочих, которые находились в турбинном зале. Четыре человека погибли, 18 серьезно пострадали.

25 августа 2004 года. Испания, город Ванделлос, АЭС «Ванделлос». Крупная утечка радиоактивной воды из системы охлаждения реактора второго энергоблока АЭС.

И безусловно, самые резонансные события в этом ряду – аварии в США на станции «Три-Майл-Айленд», в СССР на Чернобыльской АЭС и в Японии на станции «Фукусима».

28 марта 1979 года в США на АЭС «Три-Майл-Айленд» в штате Пенсильвания была повреждена активная зона реактора. На втором энергоблоке станции произошла утечка теплоносителя первого контура реакторной установки, ядерное топливо перестало охлаждаться, расплавилось около 50% активной зоны реактора. Энергоблок после аварии признали не подлежащим восстановлению. Помещения АЭС подверглись значительному радиоактивному загрязнению. Аварии присвоен уровень 5 по шкале INES. Инцидент стал самой серьезной аварией в атомной энергетике страны. В атмосферу, по официальным данным, попало 2,37 миллиона кюри радиоактивных веществ, в основном газы ксенон-133 и йод-131 (по независимым оценкам противников атомной энергетики, количество значительно занижено). Из района радиационного воздействия добровольно после предупреждения губернатора штата эвакуировались около 200 тысяч человек. Через три недели, когда обстановка была признана не

представляющей серьезной опасности, они вернулись в свои дома. Средняя доза облучения от радиации, полученная населением (порядка 2 миллионов человек) в результате аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд», по опубликованным официально данным, составила не более чем 1% от годовой дозы, получаемой от фоновой радиации облучения и в ходе медицинских процедур.

Однако на общественность этот громкий предупреждающий звонок произвел гнетущее впечатление и сильно затормозил развитие ядерной энергетики США. О настроениях той поры свидетельствует, например, фантастический роман Айзека Азимова «Роботы и Империя». Его действие происходит в далеком будущем, но вот что говорит один из персонажей: «Есть место, которого избегают все земляне и земные роботы... Это квинтэссенция всего, что подразумевает под собой расщепление атома... Место "инцидента", который навсегда настроил умы землян против деления ядра как источника энергии. Это место называется Три-Майл-Айленд».

Здесь, пожалуй, самое место пояснить, что шкала INES, не раз упомянутая выше, это Международная шкала ядерных событий (сокращение от английского International Nuclear Event Scale). Ее разработало Международное агентство по атомной энергии в 1988 г. и с 1990-го она используется для единообразия при оценке чрезвычайных случаев, связанных с аварийными радиационными выбросами в окружающую среду на атомных станциях (а позднее ее стали применять ко всем установкам, связанным с гражданской атомной промышленностью). В этой шкале, в частности, уровень 3 – это серьезный инцидент (облучение населения более 10 годовых доз), видимые несмертельные эффекты, например ожоги, сильное радиоактивное загрязнение в зоне, не предусмотренной проектом, с низкой вероятностью утечки наружу; уровень 4 – авария с локальными последствиями (минимальный выброс, единичные смертельные случаи, расплавление или повреждение топливных сборок с небольшим выбросом, вероятно утечка наружу). К 7-й, высшей категории, относятся крупные аварии – помимо Чернобыля, пока только та, что произошла на станции «Фукусима» в Японии в 2011 г. Тогда из-за сильнейшего в истории Японии землетрясения и последовавшего за ним цунами вода затопила подвальные помещения станции, где располагались распределительные устройства, резервные генераторы и батареи. АЭС была полностью обесточена, все системы аварийного охлаждения отказали. В реакторах 1, 2 и 3-го энергоблоков расплавилось топливо, произошли взрывы гремучей смеси на энергоблоках № 1, № 3 и № 4. Хотя ни одного случая острой лучевой болезни не зарегистрировано, ликвидаторы получили повышенную дозу радиации и это увеличило риск возникновения у них онкологических заболеваний. Правительство Японии подтвердило, что есть уже несколько таких случаев, один из ликвидаторов в 2018 г. скончался. С загрязненных территорий было эвакуировано около 164 тысяч человек. При эвакуации больниц вследствие недостатка ухода погибло 50 тяжелобольных пациентов. В течение нескольких лет после эвакуации из-за физического и психологического стрессов и неудовлетворительного медицинского обслуживания и ухода наступили 2 304 преждевременные смерти, в основном среди эвакуированных людей пожилого возраста. В декабре 2013 г. АЭС была официально закрыта. На территории станции продолжают работы по ликвидации последствий аварии. По оценке Токийской электроэнергетической компании, чтобы привести станцию в стабильное, безопасное состояние, может потребоваться до 40 лет.

При всей драматичности и далеко идущих последствиях подобных эпизодов есть, однако, у ядерной энергетики и другие недостатки, которые присущи ей повседневно.

## Рутинные проблемы

Начнем с экономических. Несмотря на то что эксплуатация АЭС сравнительно недорога, требуются огромные средства для того, чтобы станцию построить. Уже первое поколение атомных станций в США оказалось настолько дорогим, и в процессе строительства стоимость настолько возросла по сравнению с проектной, что половина из них осталась недостроенными. В дальнейшем ситуация продолжала усугубляться: если, например, в 2004 г. закладывались расходы 2-4 млрд долларов, то уже к 2008-му те же работы стоили 9 млрд. Помимо затрат на строительство, атомные станции должны выделять средства на обеспечение радиационной безопасности производимых ими отходов и хранить их в охлаждаемых конструкциях с соблюдением всех необходимых процедур. Хранение радиоактивных отходов – серьезная проблема, с которой сталкиваются атомные электростанции. Уничтожить эти отходы невозможно, текущее решение – надежно запечатать их в контейнерах и хранить глубоко под землей, где они не могут загрязнить окружающую среду. Остается только надеяться, что по мере совершенствования технологий найдутся какие-то эффективные способы с ними управляться. Не стоит забывать о том, что процесс получения энергии на АЭС включает в себя и добычу топлива. А добыча и обогащение урана не являются экологически безопасными процессами. Открытая добыча урана безопасна для горняков, но оставляет после себя радиоактивные частицы, вызывает эрозию и даже загрязняет близлежащие источники воды. Подземная добыча ненамного лучше и подвергает горняков воздействию большого количества радиации. При этом на всех этапах добычи и обогащения образуются радиоактивные отходы.

Еще одна серьезная и пока, к счастью, потенциальная проблема состоит в том, что АЭС представляют собой лакомую мишень для террористов. Чернобыльскую катастрофу многие комментаторы называли взрывом «грязной ядерной бомбы». А что если некие безумцы сознательно попытаются использовать станции для проведения чудовищных террористических актов? Опыт 11 сентября 2001 г. показывает, что это отнюдь не праздное беспокойство. И обеспечение безопасности ядерных материалов и атомных электростанций чрезвычайно важная задача.

## Итого

Взвешивая все достоинства и недостатки ядерной энергетики, нельзя не отметить еще одну важную вещь. Эта огромная, крайне высокотехнологичная, крайне наукоемкая отрасль одним фактом своего существования способствует не только достижению своей прямой цели – производства электроэнергии, но способствует развитию научного знания, концентрации усилий на прорывных направлениях исследований в различных областях, начиная от материаловедения и заканчивая экологией. Служит локомотивом развития промышленности. И требует подготовки огромного количества специалистов высочайшей квалификации в самых различных областях. И физиков-ядерщиков, и физико-химиков, и радиобиологов. И конечно, тех, кто будет заниматься ядерной тематикой непосредственно. И, может быть, именно кто-то из тех, кто сегодня учится в СПбПУ, в Институте энергетики или

Институте ядерной энергетики, сможет – почему не помечтать, тем более на то есть исторические основания! – спроектировать абсолютно безопасную станцию, разработать технологию, сводящую к ничтожному минимуму опасность радиоактивного загрязнения среды на любом этапе, или вообще совершить какой-то пока еще не представимый шаг в светлое, энергетически изобильное будущее человечества. Дело стоящее – почему не помечтать?

### **Максим Коношин: основная тенденция развития атомной энергетики – это использование новых типов ядерных реакторов поколения IV**

Преподаватель Политеха рассказывает о проблемах и перспективах отрасли, а также о том, смогут ли альтернативные и возобновляемые источники энергии вытеснить АЭС с рынка.

#### **Что реально дает атомная энергетика человечеству?**

В настоящий момент повсюду идет цифровизация производства и нашей обыденной жизни.

Человечество все больше и больше использует различные технические устройства, которые потребляют электрическую энергию. Это не только различная автоматизация производства, где используются промышленные роботы и специальное оборудование, потребляющее электрическую энергию, но и повседневная жизнь людей. Уже невозможно представить нашу жизнь без смартфонов, компьютеров, электрических бытовых приборов и т.п. В результате этого растет энергопотребление, и одним из вариантов обеспечения человечества энергией является использование атомной энергии.

Атомная энергия – это колоссальный источник энергии. Всего 1 кг урана с обогащением до 4% дает столько же энергии, сколько сжигание примерно 100 тонн высококачественного каменного угля или 60 тонн нефти.

С учетом роста энергопотребления необходим такой источник энергии, который сможет обеспечить человечество необходимыми объемами энергии, и в этом случае атомная энергия – именно тот необходимый источник.

Начиная с 1954 г., когда была введена в эксплуатацию Обнинская АЭС – первая атомная электростанция в мире, человечество получает полезную энергию из деления ядер урана. Естественно, в дальнейшем продолжится развитие, все больше и больше будут автоматизироваться рутинные процессы. И без надежного и энергоемкого источника энергии это невозможно представить.

Стоит также упомянуть, что атомную энергию мы можем использовать не только для производства электрической энергии, но и для обеспечения человечества другими ресурсами. Мы можем использовать тепло, вырабатываемое в ядерных реакторах, для опреснения морской воды, тем самым обеспечив засушливые регионы необходимыми запасами пресной воды. Но также можно вырабатывать водород, один из самых перспективных источников энергии.

#### **Насколько далеко мы продвинулись в обеспечении безопасности эксплуатации АЭС?**

Безопасность атомной энергетики неразрывно развивалась с освоением эксплуатации АЭС. Развитие атомной энергетики невозможно без обеспечения должного уровня безопасности для населения и окружающей среды.

Благодаря внедренным технологиям оказалось возможным снизить уровень возникновения тяжелой аварии для каждого энергоблока АЭС до значения 1 раз в 100 000 лет.

Невозможно представить ни одну современную АЭС без специальных технических устройств, обеспечивающих безопасность. Среди таких устройств стоит упомянуть: ловушку расплава, предназначенную для локализации расплава активной зоны реактора; пассивные системы отвода тепла, обеспечивающие охлаждение ядерного топлива в реакторе без использования энергии; использование основных и резервных систем безопасности для гарантированного обеспечения безопасности эксплуатации АЭС.

Причем все системы безопасности АЭС расположены в отдельном здании, в четырех защищенных и изолированных друг от друга каналах, что обеспечивает высокий уровень надежности работы систем.

#### **Радиоактивные отходы. Пути решения проблемы**

К сожалению, в процессе работы АЭС возникают радиоактивные отходы. Эти отходы высокоактивные и представляют определенный уровень опасности для населения и окружающей среды. В настоящий момент отходы захороняют в специальных хранилищах.

Однако атомная энергетика продолжает свое развитие. Проводятся исследования по возможности переработки радиоактивных отходов для снижения их уровня опасности. В качестве примера можно привести исследования в области использования реакторов на быстрых нейтронах для «дожигания» высокоактивных минорных актинидов, например кюрия или америция, для снижения их концентрации в отходах. Причем такие реакторы уже строятся – это проект Опытно-демонстрационного энергетического комплекса с реактором БРЕСТ-ОД-300 (проект «Прорыв» ГК Росатом).

Проекты такого рода позволят решить одну из главных проблем ядерной энергетики – замыкание ядерного топливного цикла, и обеспечить использование атомной энергии еще на долгое время.

#### **«Зеленая» повестка и атомная энергетика. Смогут ли альтернативные и возобновляемые источники энергии вытеснить АЭС с рынка?**

Очень много ведется разговоров о том, сможет ли тот или иной источник энергии быть единственным. Это кардинально неверно.

Энергетика не сможет существовать, используя только один источник энергии, ведь его потеря – это потеря всей возможной энергии. Поэтому энергетика развивалась на различных источниках энергии не только из-за конкуренции между ними, но и благодаря необходимости использовать различные источники для поддержания надежного энергоснабжения потребителей. Энергетику надо рассматривать в целом.

В некоторых моментах удобнее использовать возобновляемые источники энергии, в случае необходимости больших мощностей возможно использование атомной энергии, если рядом есть месторождение полезных ископаемых – то использовать ископаемые. Отсюда следует, что возобновляемая энергетика не сможет вытеснить атомную, потому что необходимо использовать и развивать различные источники энергии.

### **Перспективы развития атомной энергетики в обозримом будущем**

Основная тенденция развития атомной энергетики – это использование новых типов ядерных реакторов поколения IV.

Реакторы нового типа позволят решить различные проблемы атомной энергетики, начиная от замыкания ядерного топливного цикла и заканчивая возможностью использования ядерных реакторов не только для производства электрической энергии, но и вторичных продуктов (пресной воды или водорода).

Технологии реакторов новых типов базируются на разработках существующих ядерных реакторов. Но, к сожалению, ввести новые реакторы в строй мы сможем только через 20-30 лет, потому что нужно помнить о главном критерии развития атомной энергетики – это безопасность для населения и окружающей среды. Новые технологии должны быть апробированы, созданы экспериментальные варианты и накоплен необходимый опыт для их безопасной эксплуатации.

Тем не менее такие реакторы уже строятся, это упомянутый ранее «Прорыв» ГК Росатом – реактор БРЕСТ-ОД-300. Внедрение таких проектов обеспечит устойчивое развитие атомной энергетики во благо человечества.

Не остается без внимания и вопрос использования ядерных реакторов малой мощности в обозримом будущем. Например, согласно информации от ГК Росатом, к 2028 году в Якутии будет построена атомная станция малой мощности для развития энергоснабжения региона. Атомная энергетика будет развиваться для обеспечения человечества энергией.