## 1 Проблемы развития энергетики

Развитие индустриального общества опирается на постоянно растущий уровень производства и потребления различных видов энергии.

Как известно, в основе производства тепловой и электрической энергии лежит процесс сжигания ископаемых энергоресурсов -

* угля
* нефти
* газа

а в атомной энергетике - деление ядер атомов урана и плутония при поглощении нейтронов.

Масштаб добычи и расходования ископаемых энергоресурсов, металлов, потребления воды, воздуха для производства необходимого человечеству количества энергии огромен, а запасы ресурсов, увы, ограничены. Особенно остро стоит проблема быстрого исчерпания запасов органических природных энергоресурсов.

**1 кг природного урана заменяет 20 т угля.**

  Мировые запасы энергоресурсов оцениваются величиной 355 Q, где Q - единица тепловой энергии, равная Q=2,52\*1017 ккал = 36\*109 тонн условного топлива /т.у.т/, т.е. топлива с калорийностью 7000 ккал/кг, так что запасы энергоресурсов составляют 12,8\*1012 т.у.т.

Из этого количества примерно 1/3 т.е. ~ 4,3\*1012 т.у.т. могут быть извлечены с использованием современной техники при умеренной стоимости топливодобычи. С другой стороны современнные потребности в энергоносителях составляют 1,1\*1010 т.у.т./год, и растут со скоростью 3-4% в год, т.е. удваиваются каждые 20 лет.

Легко оценить, что органические ископаемые ресурсы, даже если учесть вероятное замедление темпов роста энергопотребления, будут в значительной мере израсходованы в будущем веке.

Отметим кстати, что при сжигании ископаемых углей и нефти, обладающих сернистостью около 2,5 %, ежегодно образуется до 400 млн.т. сернистого газа и окислов азота, т.е. около 70 кг. вредных веществ на каждого жителя земли в год.

**Использование энергии атомного ядра, развитие атомной энергетики снимает остроту этой проблемы.**

Действительно, открытие деления тяжелых ядер при захвате нейтронов, сделавшее наш век атомным, прибавило к запасам энергетического ископаемого топлива существенный клад ядерного горючего. Запасы урана в земной коре оцениваются огромной цифрой 1014 тонн. Однако основная масса этого богатства находится в рассеяном состоянии - в гранитах, базальтах. В водах мирового океана количество урана достигает 4\*109 тонн. Однако богатых месторождений урана, где добыча была бы недорога, известно сравнительно немного. Поэтому массу ресурсов урана,которую можно добыть при современной технологии и при умеренных ценах, оценивают в 108 тонн. Ежегодные потребности в уране составляют, по современным оценкам, 104 тонн естественного урана. Так что эти запасы позволяют, как сказал академик А.П.Александров, "убрать Дамоклов меч топливной недостаточности практически на неограниченное время".

Другая важная проблема современного индустриального общества - обеспечение сохранности природы, чистоты воды, воздушного бассейна.

Известна озабоченность ученых по поводу "парникового эффекта", возникающего из-за выбросов углекислого газа при сжигании органического топлива, и соответствующего глобального потепления климата на нашей планете. Да и проблемы загазованности воздушного бассейна, "кислых" дождей, отравления рек приблизились во многих районах к критической черте.

Атомная энергетика не потребляет кислорода и имеет ничтожное количество выбросов при [нормальной эксплуатации](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#normex). Если атомная энергетика заменит обычную энергетику, то возможности возникновения "парника" с тяжелыми экологическими последствиями глобального потепления будут устранены.

Чрезвычайно важным обстоятельством является тот факт, что атомная энергетика доказала свою экономическую эффективность практически во всех районах земного шара. Кроме того, даже при большом масштабе энергопроизводства на АС атомная энергетика не создаст особых транспортных проблем, поскольку требует ничтожных транспортных расходов, что освобождает общества от бремени постоянных перевозок огромных количеств органического топлива.

## 2 Состояние ядерной энергетики

По данным МАГАТЭ к концу 1989 года в мире действовало 426 реакторов с установленной мощностью 318237 МВт.эл, с полной длительностью эксплуатации 5201 реактор.год, в стадии сооружения находилось 93 реакторов с установленной мощностью 76303 МВт.эл. Значительное развитие получили корпусные реакторы с водой под давлением, с кипением и без кипения воды в активной зоне.

  Доля атомной энергетики в производстве энергии во Франции составляет 78%

  Парк реакторов в конце 1989 года представлен в Таблице 1.

### Таблица 1. Атомная энергетика на 31декабря 1989 года [1]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Страна | Число реакторов типа PWRи их установленная мощность в МВт.эл. | Число реакторов всех типови их установленная мощность в МВт.эл. | Доля энерго-производства |
| действующих | строящихся | действующих | строящихся |
| США | 73     66305 | 3     3464 | 110     98331 | 3     3464 | 0,19 |
| Франция | 49     49415 | 9     12245 | 55     52588 | 9     12245 | 0,75 |
| СССР | 25     18695 | 21     17100 | 46     34230 | 26     22180 | 0,17 |
| Япония | 17     12521 | 5     4777 | 39     29300 | 12     10629 | 0,27 |
| ФРГ | 14     15497 | - | 24     22716 | 1     295 | 0,34 |
| Канада | - | - | 18     12185 | 4     3524 | - |
| Англия | - | 1     1188 | 39     11242 | 1     1188 | 0,21 |
| Швеция | 3     2630 | - | 12     9817 | - | 0,47 |
| Испания | 7     5669 | - | 10     7544 | - | 0,38 |
| Южная Корея | 8     6591 | 2     1900 | 9     7220 | 2     1900 | - |
| Бельгия | 7     5500-  |  |  |  |  |
| - | 7     5500 | - | 0,66 |  |  |
| ЧСФР | 8     3264 | 6     3336 | 8     3264 | 6     3336 | 0,27 |
| Болгария | 5     2585 | 2     1906 | 5     2585 | 2     1906 | - |
| Италия | 1     260 | - | 2     1120 | - | - |
| Всего: | 239     200541 | 62     55541 | 426     318237 | 93     76303 |      |

Отметим достаточно высокие коэффициенты использования установленной мощности /КИУМ/, которые демонстрируют реакторы типа PWR [3] - в 1989 году этот показатель составлял почти 70 %, что превосходит аналогичные показатели всех других типов реакторов.

|  |  |
| --- | --- |
| карта расположения АЭС на территории России Кликните мышкой в картинку, чтобы посмотреть цветную версию. | Из этих данных видно, что атомная энергетика играет важную роль в современном энергопроизводстве - доля энерговыработки на [АС](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#AS) в мире достигает 16 %. Однако развитие атомной энергетики в последние годы существенно амедлилось. Частично это замедление темпов роста связано с общей тенденденцией к стабилизации энергопотребностей, с успехами энергосберегающих технологий. Но главной причиной явились широко распространившиеся убеждение во "вредности" атомной энергетики, сомнения в возможностях достижения приемлемого уровня [безопасности АС](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#Safety) на базе современной технологии.  |

Большое влияние на отношение широкой публики к атомной энергетике оказывали [аварии](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#avar) на [атомных электростанциях](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#AES), особенно авария на АЭС **"Трехмильный остров"** /TMI-2/ недалеко от Гаррисбурга /США/, произошедшая 28 марта 1979 года, и авария на 4-ом блоке **Чернобыльской АЭС**, случившаяся 26 апреля 1986 года.

Под влиянием этих [аварий](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#avar) в ряде стран поднялась широкая волна общественного сопротивления использованию [атомных электростанций](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#AES), возбуждаемая страхами об опасностях воздействия атомной радиации на окружающую среду и население.

Эти [аварии](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#avar) породили сомнения в зрелости концепций безопасности, заложенных в основы проектов атомных электростанций, достаточности принимаемых мер безопасности.

После этих событий резко возросла интенсивность научных исследований в области обеспечеия безопасности объектов атомной энергетики. Однако большое число исследований проблем [безопасности АС](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#Safety), хотя и выявили недостатки, упущения и даже ошибки в мерах обеспечения безопасности АС, лишь подтвердили уверенность специалистов в том, что разумно высокая степень безопасности АС может быть достигнута на основе современных знаний и технологий. С другой стороны, уроки [аварий](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#avar) указали на необходимость пересмотра концепции обеспечения безопасности, потребовали повышения свойств самозащищенности реакторов, обеспечения более высокого уровня безопасности за счет использования пассивных средств защиты.

Далее, в настоящем курсе будет представлен обзор современного состояния проблем [безопасности атомных электростанций](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#Safety) и показано, что реально имеется большой запас методов и средств обеспечения безопасности, которые к тому же, не слишком отягощают экономические показатели [АС](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#AS).

Так что, несмотря на опасения по поводу радиационных опасностей использования атомной энергии, нет сомнений, что атомная энергетика сможет отвечать самым строгим требованиям безопасности, что будущее энергопроизводства - за атомной энергетикой.

## 3 Классификация ядерных реакторов

Ядерные реакторы делятся на несколько групп:

* в зависимости от средней энергии спектра нейтронов - на быстрые, промежуточные и тепловые;
* по конструктивным особенностям активной зоны - на корпусные и канальные;
* по типу теплоносителя - водяные, тяжеловодные, натриевые;
* по типу замедлителя - на водяные, графитовые, тяжеловодные и др.

Для энергетических целей, для производства электроэнергии применяются:

* водоводяные реакторы с некипящей или кипящей водой под давлением,
* уран-графитовые реакторы с кипящей водой или охлаждаемые углекислым газом,
* тяжеловодные канальные реакторы и др .

В будущем будут широко применяться реакторы на быстрых нейтронах, охлаждаемые жидкими металлами (натрий и др.); в которых принципиально реализуем режим воспроизводства топлива, т.е. создания количества делящихся изотопов плутония Pu-239 превышающего колич ество расходуемых излотопов урана U-235. Параметр, характеризующий воспроизводство топлива называется **плутониевым коэффициентом**. Он показывает, сколько актов атомов Pu-239 создается при реакциях захвата нейтронов в U-238 на одмин атом уU-235, захва тившег о нейтрон и претерпевшего деление или радиационное превращение вU-2356ю .

### 3.1 Реакторы с водой под давлением.

Реакторы с водой под давлением занимают видное место в мировом парке энергетических реакторов. Кроме того, они широко используются на флоте в качестве источников энергии как для надводных судов, так и для подводных лодок. Такие реакторы относительно компактны, просты и надежны в [эксплуатации](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#expl). Вода, служащая в таких реакторах теплоносителем и замедлителем нейтронов, относительно дешева, неагрессивна и обладает хорошими нейтронно- физическими свойствами.

Реакторы с водой под давлением называются иначе водоводяными или легководными. Они выполняются в виде цилиндрического сосуда высокого давления со сьемной крышкой. В этом сосуде (корпусе реактора) размещается активная зона, составленная из топливных сборок (топливных кассет) и подвижных элементов системы управления и защиты. Вода входит через патрубки в корпус, подается в пространство под активной зоной, двигается вертикально вверх вдоль топливных элементов и отводится через выходные патрубки в контур циркуляции. Тепло ядерных реакций передается в парогенераторах воде второго контура, более низкого давления. Движение воды по контуру обеспечивается работой циркуляционных насосов, либо, как в реакторах для [станций теплоснабжения](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/vocab.html#AST), - за счет движущего напора естественной циркуляции.

Типичная тепловая схема водоводяных энергетических реакторов (ВВЭР), действующих с 1964 года в СССР, показана на Рис.1:

3.2 Кипящие реакторы

|  |  |
| --- | --- |
| <http://www-koi8.machaon.ru/pics/atom/wwer.map> | 1. [Реактор](http://www-koi8.machaon.ru/atomsec/reactor.html)
2. Парогенератор
3. Циркуляционный насос
 |

### 3.3 Уран-графитовые реакторы

