

ОСНОВЫ МЕЖДУНАРОДНОГО
СОТРУДНИЧЕСТВА В СФЕРЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ТЕХНОЛОГИЙ

ЛЕКЦИЯ 4

Ядерный энергетический комплекс: характеристика отрасли, механизмы получения энергии

Общая характеристика отрасли. За сто лет развития наука о радиоактивности породила новую отрасль производства – ядерную индустрию.

Ядерная индустрия – отрасль промышленности, связанная с использованием ядерной энергии.

Это - совокупность технологий и технических средств, предназначенных для целесообразного использования ядерной энергии.

Важной составляющей ядерной индустрии является ядерная энергетика.

На первом этапе развития ядерной индустрии ориентировались на выделение, концентрировании, очистку природных радионуклидов (уран, радий).

Производство радиоактивных изотопов было направлено на научные и медицинские цели.

В середине XX века мощный рост ядерной индустрии связан с созданием оружия массового поражения (атомное и термоядерное оружие

К концу XX века большое значение приобретает энергетическое направление ядерной индустрии – производство электроэнергии и создание транспортных ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

В настоящее время ядерная индустрия состоит из следующих компонентов.

1. Ядерное топливо и компоненты ядерного оружия:
 - а) горючее для атомных реакторов и термоядерных установок;
 - б) оружейный уран, плутоний и некоторые актиниды;
 - в) ядерное оружие, включающее атомные, водородные, нейтронные, радиационные бомбы (снаряды, мины, геофизическое оружие)

2. Оборудование для испытания ядерного оружия: стенды, тренажеры, оборудование для проведения ядерных взрывов в мирных целях, включающее создание подземных газовых резервуаров, стимулирование нефтяных пластов, тушение пожаров на газовых скважинах, уничтожение радиоактивных отходов, химического оружия, прокладка каналов.

3. Оборудование для демонтажа ядерного оружия и утилизации его компонентов.

4. Ядерные реакторы: исследовательские, энергетические, транспортные (корабельные, самолётные, ракетные); реакторы для радиационного материаловедения и химического синтеза.

5. Термоядерные установки: магнитные ловушки, устройства лазерной стимуляции.

6. Радиоактивные изотопы и меченые соединения: средства медицинской диагностики и терапии.

7. Источники излучения - для технологических целей, и сельского хозяйства.

8. Приборы и методики использования радиоактивных изотопов в технике, химии, материаловедении.
9. Методы и средства защиты персонала от излучения, а также системы обеспечения безопасности населения и окружающей среды.
10. Оборудование для регистрации ионизирующего излучения и мониторинга радионуклидов, радиационных полей в среде обитания человека.

11. Оборудование для переработки и захоронения отходов:

- установки остекловывания;
- установки для керамизации и битумирования;
- хранилища, могильники, полигоны для захоронения отходов;
- оборудование для демонтажа и утилизации отработавших свой срок ЭУ;

12. Ядерно-энергетический комплекс: создание топлива, создание АЭС и т.д.

Основными компонентами ядерно-энергетического комплекса является ядерное оружие, а побочными — электрическая энергия, тепло, пресная вода, продукты радиационного синтеза и радиационно-термической модификации материалов.

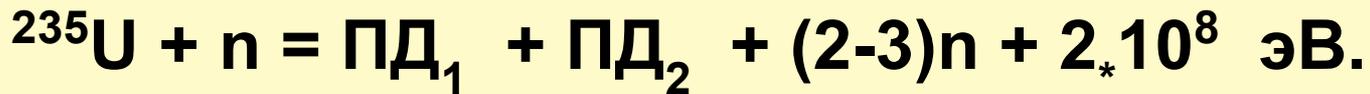
Ядерный топливно-энергетический комплекс (ЯТЭК) включает предприятия добычи, переработки урановых и ториевых руд, конверсии урана, изотопного обогащения, изготовления топливных элементов и сборок ядерных реакторов, ядерного машиностроения, атомные электростанции,

ядерные станции теплоснабжения, исследовательские
ядерные установки.

Ключевой проблемой ЯТЭК является обеспечение
безопасности производства.

Механизмы получения энергии. В современной атомной энергетике преимущественно работают реакторы на тепловых нейтронах, потребляющие в виде топлива обогащенный уран атома ${}_{92}\text{U}235$, ядро которого при соответствующих условиях поглощает нейтрон, в результате чего вновь образованное ядро изотопа ${}_{92}\text{U}236$ распадается на ядра меньшего размера с выделением трех нейтронов и около $3 \cdot 10^{-11}$

Дж тепла:



$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Вт} \cdot \text{сек}$$

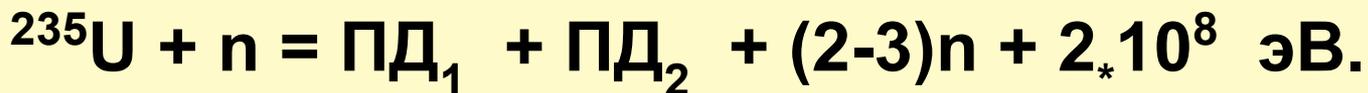
Имеются существенные различия между процессами выделения тепловой энергии при сжигании органического и ядерного топлива.

Ядерное топливо обладает значительно более высокой калорийностью:

При сгорании одного атома углерода (окисление его кислородом) выделяется примерно 4 эВ энергии, т.е.



При делении ядра ^{235}U нейтронами выделяется примерно 200 МэВ энергии, т.е.



$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Вт} \cdot \text{сек}$$

С учетом разных атомных масс урана и углерода (235:12)~20 энерговыделение реакции деления превышает энерговыделение реакции сжигания углерода (на единицу массы) примерно в $2,5 \cdot 10^6$ раз (2,5 млн раз).

Это значит, что внутриядерная энергия существенно выше энергии химических процессов.

Высокая калорийность ядерного топлива позволяет существенно сократить массу и объем топлива, требующегося для производства энергии.

Как следствие, сокращаются затраты на транспортировку и хранение топлива, что создает новый важный фактор: независимость места размещения АЭС от

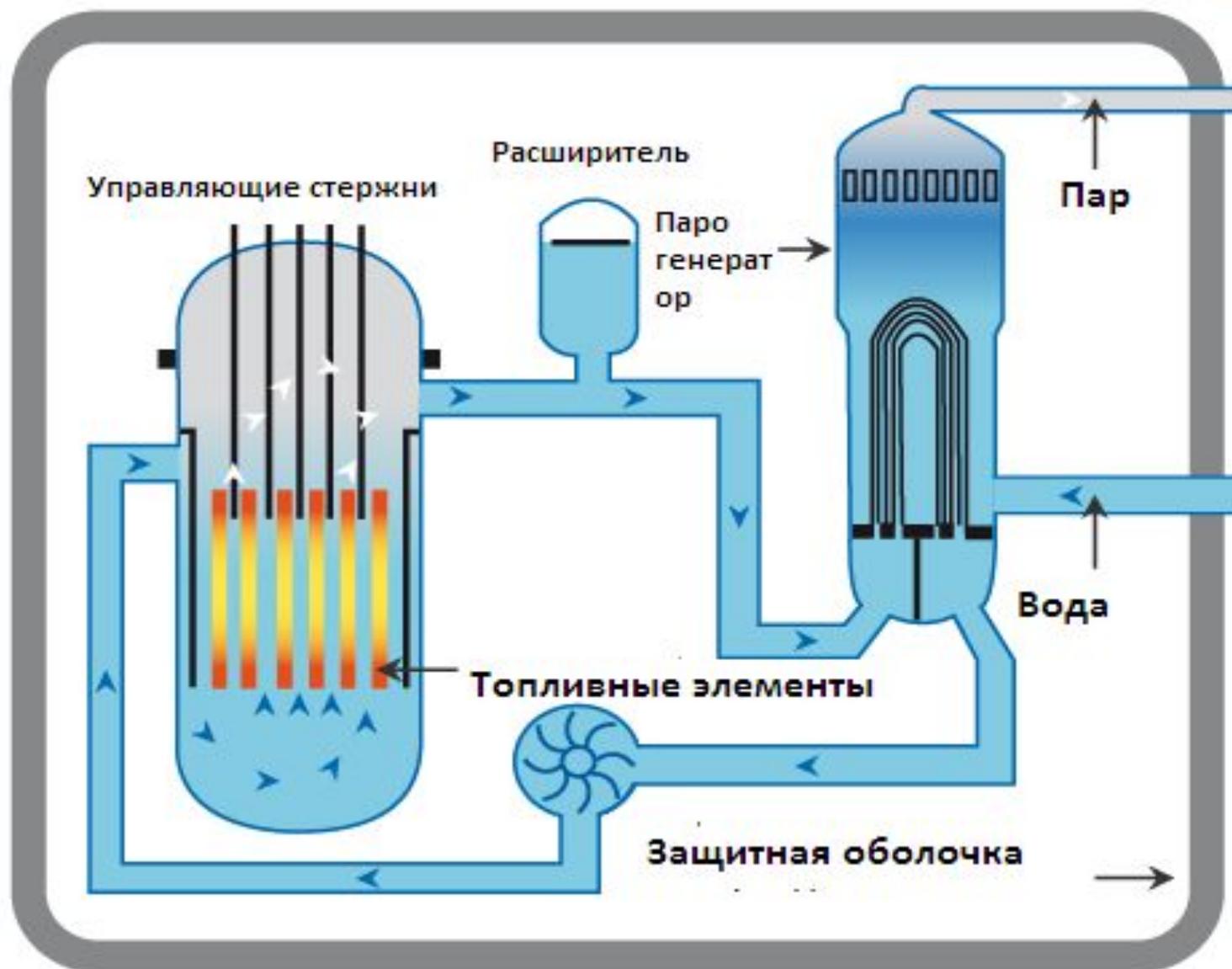
Можно подсчитать, что при распаде 1 кг ${}_{92}\text{U}^{235}$ получается около 77 ТДж энергии, что эквивалентно 1840 т. н. э.

Реакция деления урана может иметь цепной характер. Это связано с тем, что в результате распада атома появляются 3 нейтрона, которые, при определенных условиях, в свою очередь, могут привести к распаду еще трех атомов урана.

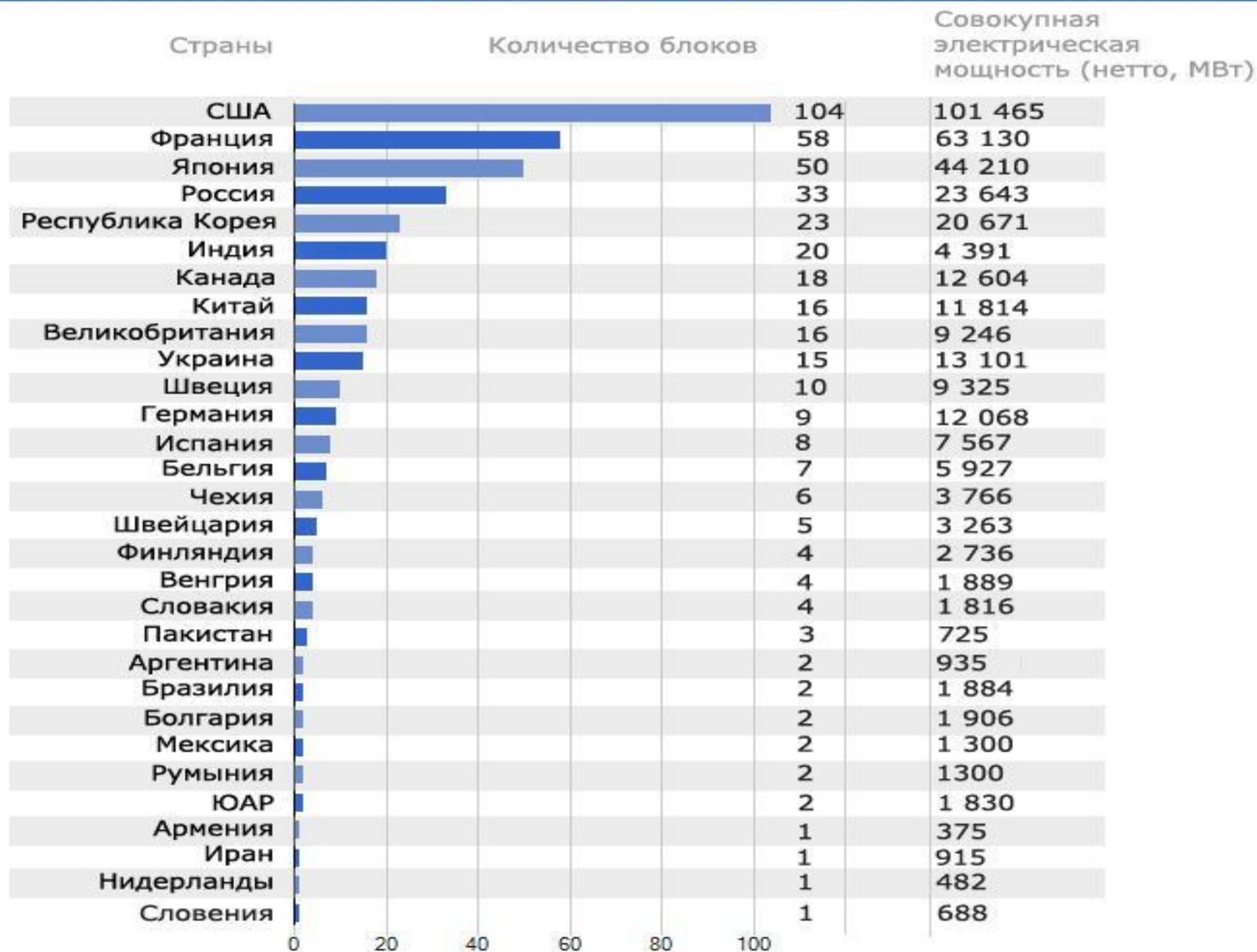
Для обеспечения стабильной работы реактора необходимо, чтобы каждая предыдущая реакция деления инициировала строго одну последующую реакцию. В противном случае скорость реакции будет экспоненциально нарастать, либо затухать.

Для поддержания равновесия в реакторах используются специальные регулирующие системы. Разработаны и саморегулирующиеся системы, что обеспечивает большую безопасность эксплуатации реактора.

Типичная схема водо-водяного реактора (PWR)

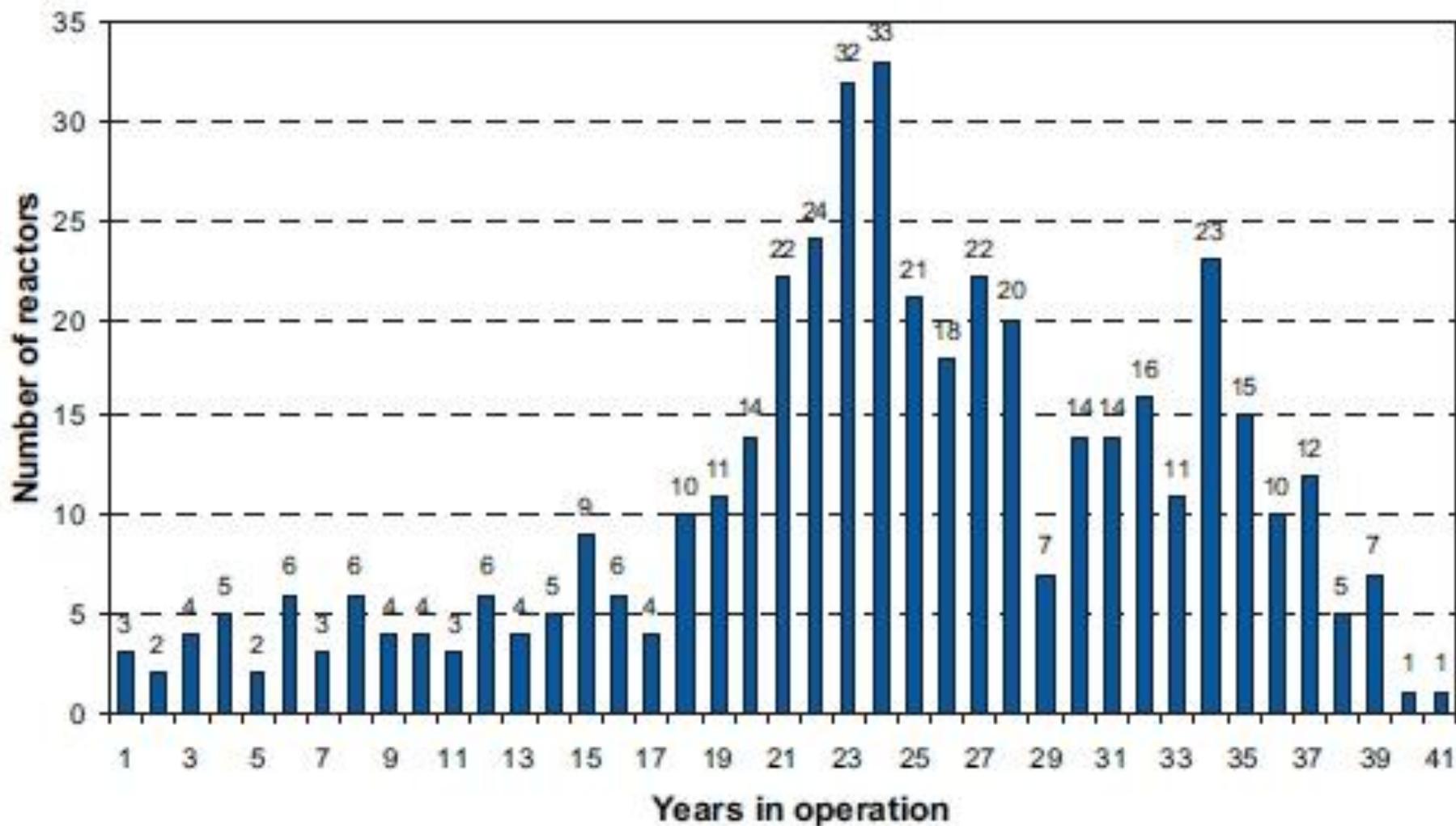


Действующие реакторы



Всего - 435 реакторов, которые производят 370 003 МВт электроэнергии

Возраст большинства действующих реакторов
изменяется от 1 до 41 года.



Распределение действующих энергоблоков по их возрасту.

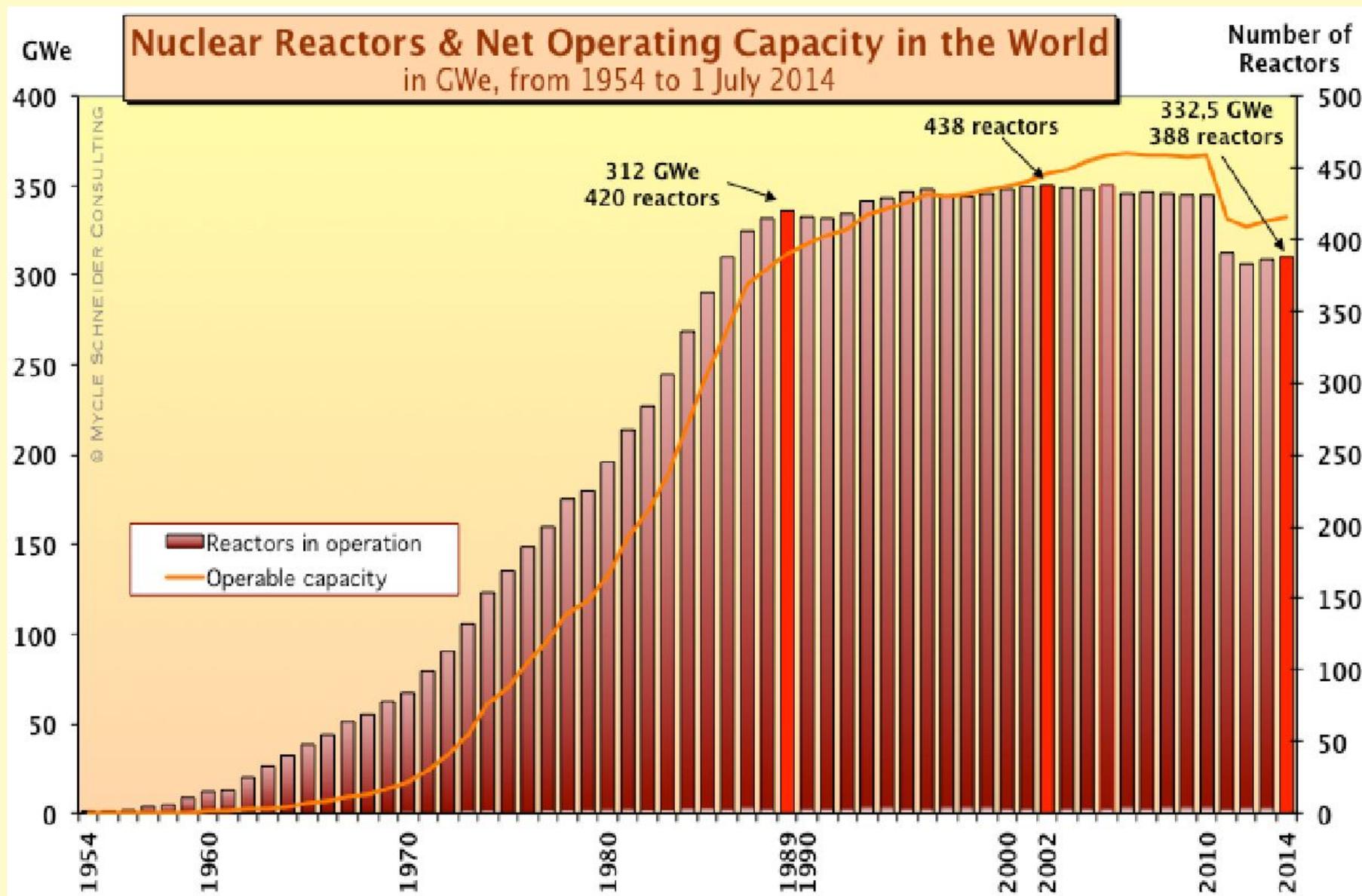


Рис. 30. Количество реакторов в мире.

Далее: Статья: *«Геополитические и экономические аспекты развития ядерной энергетики»*. - Вестник МГИМО-Университета, № 4 (43), с. 64-73.

Авторы: Жизнин С. З., Тимохов В. М.

ВИЭ

Причины развития ВИЭ в мире. Термин «возобновляемые источники энергии» применяется для всех источников энергии, запасы которых восполняются естественным образом и в обозримой перспективе являются практически неисчерпаемыми.

Интерес к возобновляемым источникам энергии в мире неуклонно возрастает.

ВИЭ приобрели не только энергетическое и экологическое, но и мировое политическое звучание и в наше время уже вносят заметный вклад в мировой энергетический баланс.

Основные причины интереса к практическому использованию ВИЭ:

а) ресурсы ВИЭ (солнечная энергия, энергия ветра, энергия биомассы, геотермальная энергия, энергия малых рек, энергия морских волн и приливов, низкопотенциальное природное и сбросное тепло и др.) практически неограничены. Они во много раз превышают обозримые потребности человечества в энергии и постоянно восполняемы;

б) использование ВИЭ не ведет к существенному загрязнению окружающей среды и не приводит к изменению теплового баланса Земли;

в) в отличие от нефти, газа, угля и урана ресурсы ВИЭ более равномерно распределены по территориям стран и регионов, не находятся в монопольном владении ограниченного числа стран, их освоение рассматривается как фактор энергетической и политической безопасности.

Продвижение ВИЭ на энергетич. рынок сдерживается относительно высокой стоимостью получаемых ими энергетических продуктов (электроэнергия, тепло, холод, альтернативные топлива), что связано, прежде всего, с характерными для ВИЭ низкими плотностями энергетических потоков и их нестабильностью.

Как следствие этого, требуются значительные затраты на оборудование, для сбора, аккумуляирования и преобразование энергии.

Справочно. Плотность потока солнечной энергии на поверхности земли в полдень ясного дня составляет всего около 1 кВт/м^2 , а ее среднегодовое значение с учетом сезонных и погодных колебаний для самых солнечных районов земного шара не превышает 250 Вт/м^2 (для средней полосы России — 120 Вт/м^2).

Средняя удельная плотность энергии ветрового потока, как правило, не превышает нескольких сотен Вт/м^2 . При скорости ветра 10 м/с располагаемая удельная плотность потока энергии равна 500 Вт/м^2 .

Плотность энергии водного потока, имеющего скорость 1 м/с , также составляет всего около 500 Вт/м^2 . В тоже время, плотность теплового потока на стенке топки парового котла достигает **нескольких сотен кВт/м^2** , то есть примерно в 10 раз выше.

В результате интенсивных исследований, разработок и реализации крупных демонстрационных проектов, в конце прошлого века в странах ЕС, США и Японии, было обеспечено существенное (для некоторых технологий на порядок) снижение стоимости энергии, получаемой от ВИЭ, повышение конкурентоспособности многих технологий ВИЭ, и уже в начале XXI века наметился заметный рост их реального вклада в энергобалансы стран и регионов.

Большинство разрабатываемых технологий использования ВИЭ являются инновационными. Они включают в себя последние научно-технические достижения в различных областях научных и инженерных знаний.

Динамичное и масштабное развитие технологий использования ВИЭ можно рассматривать как появление нового инновационного сектора мировой энергетики.

Интенсивное развитие ВИЭ в большинстве стран мира происходит по экологическим соображениям, обеспечения энергетической безопасности, социальным мотивам, и, как правило, сопровождается значительной государственной финансовой, законодательной и политической поддержкой.

Современные ВИЭ могут заменить органическое (ископаемое) и ядерное топливо: производство электроэнергии, отопление и охлаждение, транспортное топливо, сельская энергетика.

В течение пяти лет (2008-2012), установленная мощность всей возобновляемой энергии росла очень быстро, особенно в электроэнергетике. Полная мощность во всем мире, полученная ВИЭ в электроэнергетике (включая большие гидро-), превысила 1 470 ГВт в 2012 г., что на 8,5% выше мощности 2011года.

В 2012 году суммарная установленная мощность энергоустановок на новых нетрадиционных видах ВИЭ достигла **480** ГВт и почти в 1.5 раза превысила суммарную мощность действующих в 32 странах мира 435 ядерных энергетических реакторов (**370** ГВт).

К концу 2011 г. вклад традиционных и нетрадиционных ВИЭ составил 19%.

Остальная часть мирового энергобаланса покрывается традиционными ископаемыми органическими топливами - 78% (уголь, газ, нефть) и ядерной энергией - около 3% (Рис. 31).

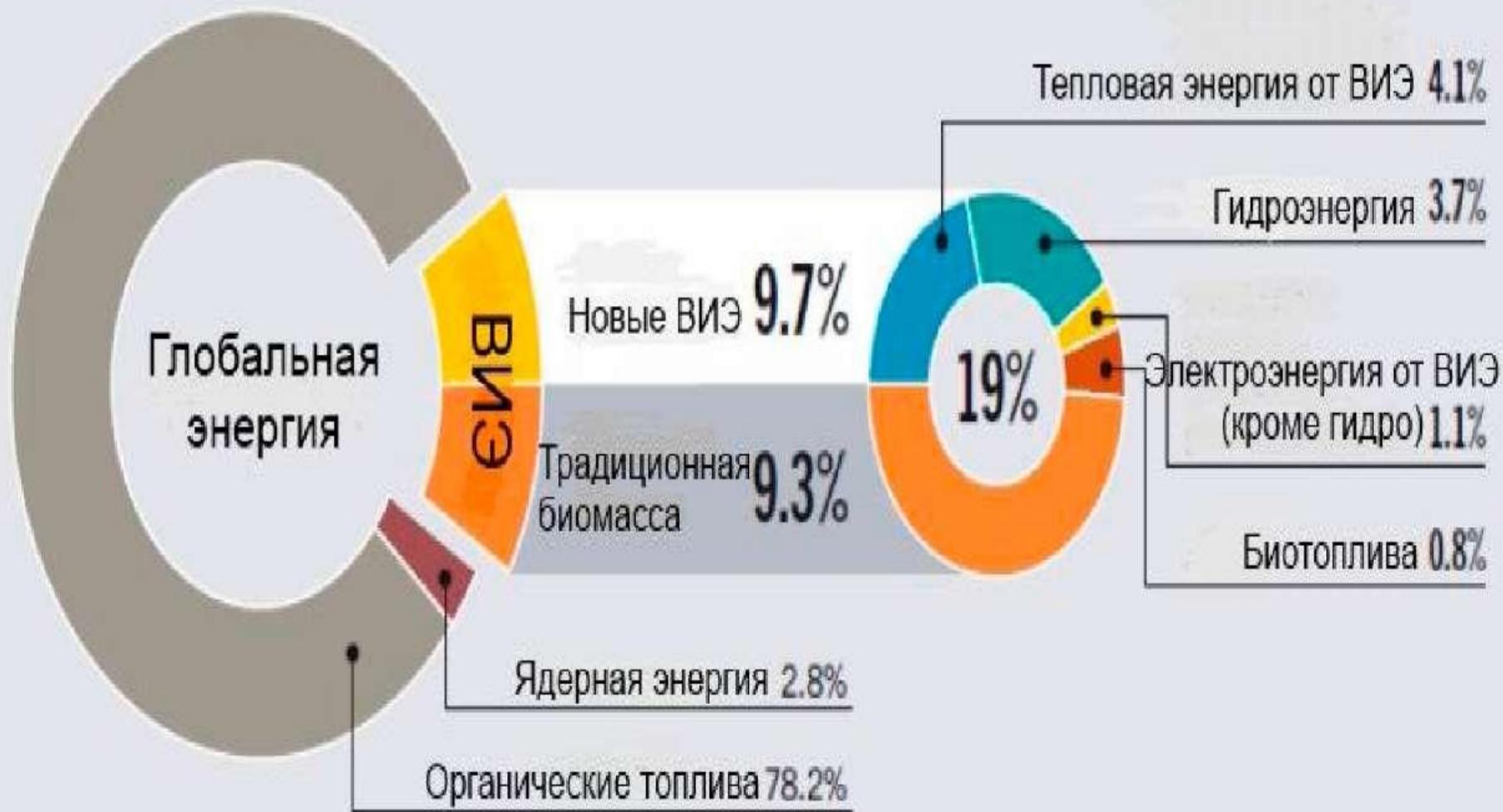


Рис. 31. Вклад традиционных и нетрадиционных ВИЭ в мировое потребление энергии на 2011 г.

Из этих объемов только 9.3% приходится на традиционную биомассу, которая используется, в основном, для приготовления пищи и отопления в сельских районах развивающихся стран.

Полезная тепловая энергия от нетрадиционной новой возобновляемой энергии оценивается в 4,1%; вклад гидроэнергетики составил около 3,7 %, а вклад от мощностей энергии ветра, солнца, геотермальной и биотоплива составил 1.9% (рис. 31).

Основные показатели развития ВИЭ.

Практическое освоение ВИЭ привело к созданию новых рабочих мест, развитию малого и среднего бизнеса.

Суммарное количество рабочих мест в области ВИЭ в мире превысило **5.7** миллионов, в том числе странах Евросоюза более 1,1 млн, в США - более 0.6 млн, в Китае – 1.8 млн., в Бразилии - 0.83 млн.

Суммарные мощности всех ВИЭ и их рост в 2012 г. представлены в таблице 15.

Отметим основные достигнутые результаты.

Общая мощность **ветроэнергетики** к концу 2012 года достигла **282,6** ГВт.

Суммарная мощность **фотоэлектрических PV-установок** выросла с 2011 г. на 29 ГВт и к концу 2012 г. превысила **100** ГВт.

Пятерка стран-лидеров выглядит так: Германия (32.4 ГВт), Италия (16.4), США (7.2), Китай (7), Япония(6.6).

Суммарная мощность **солнечных CSP-систем** выросла с 2011 г. на 60% и к концу 2012 г. достигла 2550 МВт.

Солнечная термальнная энергетика. К концу 2011 года суммарные мощности солнечных водонагревательных установок достигли 223 тепловых ГВт (GWth), из которых 152 ГВт тепловой (GWth) приходится на Китай (83%). Рост мощностей за 2011 г. составил 49 GWth. (1 million m² = 0.7 GWth).

Электроэнергия из биомассы. К концу 2012 г. мощность увеличилась на 12%, по сравнению с 2011 г. и составила 83 ГВт. Около 350 млрд. кВт*час электроэнергии было сгенерировано в 2012 г. – на 5% выше, чем в 2011.

Почти 90% биомощностей генерируются твердым топливом. Лидерами по производству биомощности из твердого топлива (пеллетов) является ЕС, далее США, а на третьем месте – Россия.

Жидкое биотопливо, био-газ, синтез-газ, газ из органических отходов также используются для производства электроэнергии. Их вклад составляет оставшиеся 10%.

Биоэнергия для получения тепла и холода. В 2012 г. около 3 GWth мощностей биомассы для отопления было введено в эксплуатацию. Мировая мощность составила примерно **293 GWth**. Европа - основной потребитель генерируемого из биомассы тепла.

Производство биотоплива. На 2007 год производство биотоплива во всём мире составляло ~ 50 млрд. литров, что эквивалентно около 1,5 % мирового потребления жидких топлив.

В 2012 году мировое производство жидкого биотоплива выросло до 105 миллиардов литров, что составило 2,7 % мирового потребления топлива на дорожном транспорте.

В 2012 году было произведено 83 млрд литров этанола и 19 млрд литров биодизеля.

Доля США и Бразилии в мировом производстве этанола снизилась с 95% до 90 %.

Биотопливо в России. В 2010 году российский экспорт сырья для биотоплива растительного происхождения, такого как солома, жмых, щепка, древесина составил более 2,7 млн. тонн.

Россия входит в тройку лидеров стран экспортеров топливных пеллет на европейский рынок. Внутри страны потребляется около 20 % произведённого биотоплива.

Геотермальная электроэнергия. США являются крупнейшим ее производителем. Только в 2005 г. страна произвела около 16 млрд. кВт*ч геотермальной электроэнергии.

На 2009 суммарные мощности 77 геотермальных электростанций составили 3086 МВт.

Американские компании являются мировыми лидерами по производству геотермальной энергии и по экспорту технологий в другие стран.

Геотермальная энергетика является одной из немногих отраслей энергетике в США, чей экспорт превышает импорт.

Гидроэнергетика. В 2012 году было введено 30 ГВт новых мощностей (без большой гидро-).

Рост - примерно 3%.

Суммарная электрическая мощность всей гидроэнергии - **990 ГВт.**

Страны - лидеры по мощности: Китай, Бразилия, США, Канада и Россия. Их вклад составляет порядка 52% общей мощности гидроэнергии.

Таблица 15. Суммарные мощности всех ВИЭ и их рост в 2012 г.

Генерируемая мощность, ГВт	Прирост за 2012 год, ГВт	Мощность к концу 2012 г., ГВт
Электроэнергетика		
Энергия ветра	45	283
Солнечная PV	29	100
Солнечные CSP-системы	1	2.5
Энергия биомассы	9	83
Геотермальная энергия	0.3	11.7
Гидро	30	990
Тепловая энергетика (ГВт тепл.)		
Солнечная термальная	32	255
Биотепловая	3	293
Геотермальная тепловая	8	66
Топливо для транспорта (млрд. литр/год)		
Производство этанола	- 1.1	83.1
Производство биодизеля	0.1	22.5

Страны-лидеры в развитии ВИЭ.

Китай является лидером по 5 секторам возобновляемой энергетики: инвестиции, общая мощность ВИЭ, малой и большой гидро-, солнечная (нагрев-холод), ветровая;

США – лидер по био- и геотермальной энергетике;

Германия – лидер в солнечной (PV) энергетике.

Более подробные результаты по этим показателям приведены в табл. 16.

Таблица 16. Пять мировых стран-лидеров в развитии возобновляемой энергетики.

Инвестиции	Общая мощность	Ветро-вая	Солнеч-ная (PV)	Солнеч-ная термаль-ная	Биомас-са	Геотер-мальная	Малые ГЭС
Китай	Китай	Китай	Герма-ния	Китай	США	США	Китай
США	США	США	Италия	Германи-я	Брази-лия	Филиппи-ны	США
Герман-ия	Брази-лия	Герма-ния	США	Турция	Китай	Индонез-ия	Герма-ния
Япония	Канада	Испа-ния	Китай	Бразили-я	Герман-ия	Мексика	Испани-я
Италия	Герма-ния	Индия	Япония	Индия	Швеция	Италия	Италия

Стратегические планы развития ВИЭ до 2020 года.

К настоящему времени 138 стран определили свои стратегические планы по развитию возобновляемой энергетики до 2020 года и на более поздний период.

Многие страны мира уже в течение ближайших 10 лет планируют достичь вклада ВИЭ в энергобалансы своих стран на уровне 10 - 30%.

Наиболее впечатляющие планы были приняты в Европейском Союзе (рис. 32)

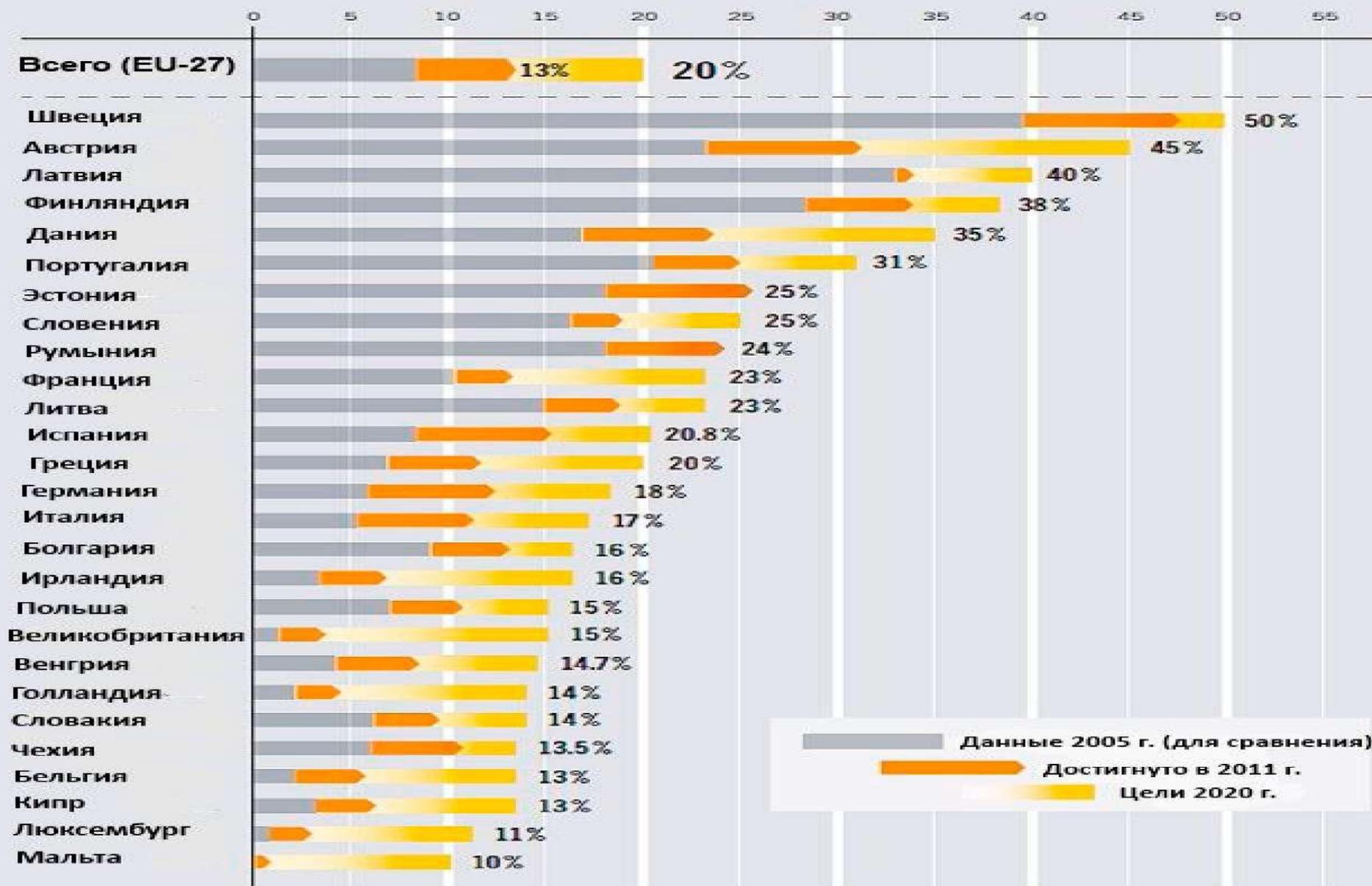


Рис. 32. Достигнутые в 2005 и в 2011 гг. показатели по вкладу ВИЭ в конечное потребление энергии в странах ЕС и цели на 2020 г.

В 2007 г. страны ЕС приняли обязательства по достижению к 2020 году доли ВИЭ до 20% от общего объема потребляемой энергии.

В 2008 г. они приняли директиву «О стимулировании использования энергии возобновляемых источников».

Согласно ей к 2020 г. необходимо:

- достигнуть 20% доли ВИЭ в общем объеме энергопотребления;
- на 20% сократить выбросы парниковых газов;
- на 20% повысить энергоэффективность путем дальнейшего развития энергосберегающих технологий;
- на 10% от общего потребления энергии использовать биотопливо.

Как видно из данных на рис. 32 Австрия, Дания, Португалия к 2011 г. уже достигли уровня 20%. Франция, Испания достигнут его к 2020 г., а такие страны как Люксембург, Мальта к 2020 г. смогут преодолеть только 10% барьер.

Швеция доведет уровень ВИЭ к 2020 г. до 50% от общего уровня энергопотребления и сократит выбросы CO₂ на 40% от уровня 1990 года.

Китай, одна из супердержав современного мира, приняла решение обеспечить к 2020 г. за счет ВИЭ 10% всех энергетических потребностей страны.

ВИЭ в России. Россия, безусловно, лучше, чем любая другая страна мира обеспечена собственными запасами традиционных топливно-энергетических ресурсов. Но запасы нефти и газа не безграничны. Разведка и освоение новых месторождений требуют возрастающих затрат, поэтому уже сегодня необходимы новые стратегические разработки по повышению эффективности использования энергетических ресурсов, диверсификации источников энергии, включая использование ВИЭ, что, в конечном итоге, позволит укрепить энергетическую безопасность страны, ее регионов, а также отдельных потребителей.

Большая часть районов страны энергодефицитны, нуждаются в завозе топлива и поставке энергии. Для них также актуально решение проблемы региональной энергетической безопасности, как и для стран импортеров энергоресурсов.

В нашей стране газифицировано лишь около 50% городских и около 35% сельских населенных пунктов. Используются уголь, нефтепродукты, являющиеся источниками локального загрязнения окружающей среды.

Участившиеся природные катаклизмы показали, что в районах централизованного энергоснабжения назрела необходимость развития малой распределенной генерации, решающей проблему повышения надежности энергоснабжения потребителей в небольших населенных пунктах, расположенных в зонах централизованного энергоснабжения, электроснабжение которых сегодня осуществляется через линии электропередач (ЛЭП), а теплоснабжение с помощью местных котельных.

Ускоренное развитие ВИЭ в России необходимо рассматривать как важный фактор модернизации экономики, в том числе связанной с развитием инновационных производств, разработкой новых инновационных технологий, развитием малого и среднего бизнеса, созданием новых рабочих мест, улучшением социальных условий, улучшением экологии и т.п.

Продвижение ВИЭ должно осуществляться в тесной увязке с реализацией мер энергосбережения.

В России впервые стратегические планы (целевые индикаторы) развития ВИЭ на государственном уровне были обозначены Распоряжением Правительства РФ от 8 января 2009 года № 1-р. Намеченные на тот период времени задачи не были выполнены.

Данные индикаторы развития ВИЭ были пересмотрены. Согласно государственной программе "Энергоэффективность и развитие энергетики" до 2020 года в стране должно быть введено 6,2 ГВт генерирующих мощностей на основе ВИЭ.

Это позволит увеличить долю ВИЭ в энергобалансе страны к 2020 году до 2,5% (вместо 4,5% планируемых ранее).

Определенную надежду на то, что ВИЭ начнут более широко использоваться в различных секторах российской экономики дает принятое 28 мая 2013 года Постановление Правительства № 449, предусматривающее финансовую поддержку развития ВИЭ.

Постановление относится к электрогенерирующим объектам возобновляемой энергетики: ветровым, солнечным электростанциям и малым ГЭС мощностью от 5 до 25 МВт, подключенным к электрической сети.

Механизм стимулирования основан на компенсации затрат по договорам на продажу мощности (ДПМ) на оптовом рынке электроэнергии и мощности.

Объем и структура ежегодно вводимых мощностей по видам ВИЭ, а также ценовые параметры ДПМ («формула цены») определяются Правительством, исходя из гарантированного возврата инвестиций в течение 15 лет.

В случае успешной реализации принятых правительственных решений в России должна быть заложена база для отечественного производства многих компонентов оборудования в соответствии с установленными показателями степени локализации по видам объектов ВИЭ на 2014-2017 год.

К 2017 году 65% оборудования ветровых, 70% солнечных и 45% малых ГЭС должны будут производиться в России.

Некоторые специфические требования к формированию программ освоения ВИЭ.

Это, в первую очередь, разработка и создание систем автономного электро- и теплоснабжения потребителей, развитие малой распределенной энергетики, что является приоритетным для рассмотренных выше развитых стран.

Данные направления обещают и наиболее масштабное освоение ВИЭ в России.

Именно в этих сферах энергетические установки на ВИЭ уже сегодня в ряде случаев оказываются конкурентоспособными и могут обеспечить положительный экономический, социальный и экологический эффекты.