

**Атомная энергетика. Перспективы. (5–11 класс, 45 минут)**

<b>Смысл</b>	<b>Основная идея урока - рассказ об инновационных технологиях Росатома.</b>
<b>Возраст и количество участников</b>	<b>Учащиеся 5-11 классов; работа в классе до 30 человек</b>
<b>Ресурсное обеспечение</b>	<b>Особых требований нет</b>
<b>Этапы и время</b>	<b>Основная идея этапа</b>
<b>Этап 1. Введение. Возобновляемые источники энергии. (7-10 минут)</b>	<p>Совместное использование ветроэнергетики, гидроэнергетики, солнечной и атомной генераций энергии носит название концепции «зелёный квадрат». Все четыре вида генерации являются по своей сути возобновляемыми; все четыре вида генерации – безуглеродные, то есть при работе электростанций на таких источниках не происходит выработка углекислого газа; все четыре вида пригодны для отдалённых регионов.</p> <p><b>Дополнительная литература по теме:</b>          - Отчёт BP за 2020 год о мировом потреблении энергии, <a href="https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf">https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf</a></p>
<b>Этап 2. Как атомная энергия преобразуется в электричество. (7-10 минут)</b>	<p>Энергия, заключённая в атомном ядре и используемая для генерации тепла на АЭС, крайне мощная и сконцентрированная! Можно смело утверждать, что 99% всей окружающей нас энергии скрыто в атомных ядрах, и в условиях постоянно растущей потребности в электроэнергии и тепле у человечества в будущем просто нет иного выбора, как научиться умело, безопасно и эффективно пользоваться этой энергией.</p> <p><b>Дополнительная литература по теме:</b>          - База данных МАГАТЭ по энергетическим ядерным реакторам PRIS, <a href="https://prisweb.iaea.org/PRIS">https://prisweb.iaea.org/PRIS</a>          - Ядерная физика. 10 — 11 классы: учебное пособие для общеобразовательных организаций (под редакцией Ю.А. Панебратцева, Г.В. Тихомирова) // М.: Просвещение, 2019. — 159 с. ISBN 978-5-09-051605-1</p>
<b>Этап 3. Ядерные топливные циклы. Открытый и замкнутый цикл.</b>	<p>Концепция замкнутого ядерного топливного цикла и использование быстрых реакторов позволяет не только реактору самостоятельно обеспечивать себя новым топливом во время работы, но и нарабатывать новый делящийся материал для реакторов классической</p>

<p><b>(5-7 минут)</b></p>	<p>конструкции. Тем самым атомная энергетика становится приближённой к возобновляемым источникам, ведь подобная регенерация ядерного топлива позволит увеличить мировой топливный потенциал на сотни или даже тысячи лет.</p> <p><b>Дополнительная литература по теме:</b></p> <p>- Статья «Россия делает очередные шаги по переходу на замкнутый ядерный топливный цикл»,  <a href="http://www.rosatominternational.com/news/2016/11/29-11-1">http://www.rosatominternational.com/news/2016/11/29-11-1</a></p>
<p><b>Этап 4.</b>  <b>Потенциал атомной энергетики в труднодоступных регионах.</b>  <b>(5-7 минут)</b></p>	<p>Разрабатываемые реакторы малой мощности позволят размещать небольшой источник электроэнергии в непосредственной близости к её потребителям, что существенно удешевит конечное производство, а компактный размер таких АЭС позволит размещать их в удалённых районах и на ограниченных площадках.</p> <p><b>Дополнительная литература по теме:</b></p> <p>- Статья «Атомные станции малой/средней мощности и плавучие атомные теплоэлектростанции» с сайта АО «ОКБМ Африкантов»,  <a href="http://www.okbm.nnov.ru/business-directions/atomnye-stantsii-maloy-sredney-moshchnosti-i-plavuchie-atomnye-teploelektrostantsii/">http://www.okbm.nnov.ru/business-directions/atomnye-stantsii-maloy-sredney-moshchnosti-i-plavuchie-atomnye-teploelektrostantsii/</a></p>
<p><b>Этап 5. Будущее ядерной энергетики – управляемый термоядерный синтез.</b>  <b>(7-10 минут)</b></p>	<p>В отличие от традиционной ядерной энергетики, когда ядерная энергия высвобождается путём деления тяжёлых изотопов (урана, плутония и т.д.) на более лёгкие ядра, возможен и обратный процесс: синтез ядер лёгких химических элементов в более тяжёлые, который также сопровождается выделением колоссальной энергии.</p> <p>Термоядерная энергетика станет абсолютно независимым от возобновления ресурсов источником энергии.</p> <p><b>Дополнительная литература по теме:</b></p> <p>- Сайт проекта ITER в РФ, <a href="https://www.iterrf.ru/o-proekte">https://www.iterrf.ru/o-proekte</a></p> <p>- Ядерная физика. 10 — 11 классы: учебное пособие для общеобразовательных организаций (под редакцией Ю.А. Панебратцева, Г.В. Тихомирова) // М.: Просвещение, 2019. — 159 с.  ISBN 978-5-09-051605-1</p>
<p><b>Этап 6.</b>  <b>Заключение</b>  <b>(5 минут)</b></p>	<p>Развитие современной атомной энергетики как безопасной и инновационной отрасли позволит в ближайшем будущем существенно снизить парниковые выбросы, по-настоящему освоить</p>

	<p>труднодоступные регионы планеты, а концепции замкнутого ядерного топливного цикла и термоядерной энергетики сделают энергию атома рентабельной на неограниченный срок.</p> <p><b>Участники участвуют в обсуждении вопросов, возникающих в ходе беседы.</b></p>
--	---

## **К этапу 1. Введение. Возобновляемые и невозобновляемые источники энергии.**

В современном мире жизнь человека немыслима без ежеминутного потребления энергии: электричества и тепла. Сегодня электроэнергия вырабатывается сотнями различных методов, как с использованием невозобновляемых природных ископаемых (газ, уголь, нефть), так и при помощи преобразования в электричество возобновляемой энергии солнца, ветра, движения воды в руслах рек и многое другое. Принято считать, что невозобновляемая энергетика обладает рядом недостатков, часть из которых можно считать действительно критичными.

Первый недостаток отражён в самом понятии – невозобновляемость ресурсов. Действительно, природные залежи угля, нефти и газа во многом ограничены. Дальнейшее массовое использование таких ископаемых в качестве источника энергии приведёт если не к полному исчерпанию ресурсов, то к существенному удорожанию электроэнергии, получаемой на их основе, так как лёгкая и дешёвая добыча топлива станет невозможной. Для некоторых невозобновляемых источников энергии этот сценарий наступит через несколько сотен лет, для некоторых – уже через десятки.

Второй недостаток рождён самим методом преобразования внутренней энергии топлива в электричество. Этот недостаток – выбросы углекислого газа. Для выработки электричества большинство современных теплоэлектростанций использует так называемый паротурбинный цикл. Вода, нагреваясь в паровом котле и превращаясь в водяной пар, в дальнейшем проходит через турбину. Пар вращает турбину, жёстко связанную с электрогенератором, и вырабатывается электроэнергия. При этом источником тепла для парового котла является химическая реакция окисления топлива, или горение. При горении органических соединений (а такими являются и нефть, и газ, и уголь) неизбежно образуется большое количество углекислого газа, который при работе теплоэлектростанций сразу же попадает в атмосферу нашей планеты. Проблема таких выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу широко известна под названием «парниковый эффект». Парниковые газы сохраняются в атмосфере столетиями и вносят основной вклад в глобальное потепление планеты.

Третьим минусом энергетики на основе невозобновляемого топлива является сложность организации работы таких теплоэлектростанций в труднодоступных и удалённых районах Земли. Действительно, работа любой теплоэлектростанции приемлемой мощности требует ежедневного снабжения топливом, объём которого может исчисляться тысячами тонн. Перевозки такого количества груза в некоторые районы являются сложнейшей задачей, а в какие-то – невозможной к выполнению. Однако потребность в электроэнергии сегодня есть даже и в таких труднодоступных местах!

Смогут ли возобновляемые источники энергии решить все три описанные проблемы разом? Пожалуй, нет. Однако если мы добавим к ним другой вид генерации энергии – атомную энергетику, единовременное решение всех актуальных задач мировой энергетики без использования углеводородного топлива становится возможным.

Совместное использование ветроэнергетики, гидроэнергетики, солнечной и атомной генераций энергии носит название «зелёный квадрат». Все четыре вида генерации являются по своей сути возобновляемыми (в современном представлении атомная энергетика тоже лишена недостатков ограниченности ресурсной базы, подробнее об этом и про концепцию замкнутого ядерного топливного цикла поговорим чуть позже); все четыре вида генерации – безуглеродные, то есть при работе электростанций на таких источниках не происходит выработка углекислого газа; все четыре вида генерации не требуют постоянных огромных поставок новых энергоресурсов для своей работы, то есть пригодны для отдалённых регионов (здесь лидером энергетики больших мощностей тоже может стать именно атом, об этом мы тоже поговорим отдельно).

## **К этапу 2. Как атомная энергия преобразуется в электричество.**

Атомная энергетика - одна из наиболее быстро развивающихся отраслей в мире. Действительно, от момента открытия нейтрона Джеймсом Чедвиком в 1932 году до запуска Первой в мире АЭС (г. Обнинск) в 1954 году прошло чуть больше двадцати лет! Сегодня в мире эксплуатируется уже 442 ядерных реактора, еще 53 находятся в стадии строительства (по данным на 2020 год базы данных МАГАТЭ по энергетическим ядерным реакторам PRIS); из них 38 реакторов работают на территории нашей страны.

Для того чтобы мы могли говорить обо всех перспективах атомной отрасли, её особенностях и новых направлениях, мы должны разобраться в том, как атомная энергия преобразуется в электричество и что является топливом при таком преобразовании.

Сам процесс непосредственной генерации электроэнергии в АЭС довольно схож с работой тепловых электростанций: водяной пар крутит турбину, которая в свою очередь обеспечивает вращение электрогенератора и выработку электричества. При этом источником тепла для подогрева воды

служит уже не горение ископаемого топлива, а энергия, получаемая в результате вынужденного радиоактивного распада ядерного топлива.

Ядерным топливом на АЭС, как правило, являются различные соединения такого элемента, как уран. Уран – химический элемент, один из изотопов которого (уран-235) при взаимодействии с нейтронами способен к разделению на два осколка с выделением колоссальной энергии. Впервые деление ядер урана было открыто в 1938 г. учёными О. Ганом и Ф. Штрассманом. Примечательно, что при делении ядер урана, помимо энергии, образуются также и новые нейтроны, впоследствии способные разделить соседние ядра – это называется цепной ядерной реакцией деления. Протекание такой самоподдерживающейся ядерной реакции приводит к нагреву самого ядерного топлива, тепло от которого отводится охлаждающей жидкостью и в итоге приводит к нагреву или испарению теплоносителя.

Важно отметить, что энергия, заключенная в атомном ядре и используемая для генерации тепла на АЭС, крайне мощная и сконцентрированная! Так, энергоёмкость всего 1 кг ядерного топлива в современных реакторах сравнима с энергоёмкостью 60 тонн (2 цистерны) нефти или 100 тонн (2 вагона) каменного угля. Можно смело утверждать, что 99% всей окружающей нас энергии скрыто в атомных ядрах и, в условиях постоянно растущей потребности в электроэнергии и тепле, у человечества в будущем просто нет иного выбора, как научиться умело, безопасно и эффективно пользоваться этой энергией.

### **К этапу 3. Ядерные топливные циклы. Открытый и замкнутый цикл.**

Уран – природный элемент, десятки тысяч тонн которого ежегодно добывают по всему миру. Природная урановая руда представляет собой смесь различных изотопов (напомню, изотопы — разновидности атомов какого-либо химического элемента, которые имеют одинаковый атомный номер, но при этом разные массовые числа), самыми распространёнными из которых являются уран-238 и уран-235. При этом в природном уране содержится чуть более 99% изотопа уран-238 и только 0,7% урана-235. Так как непосредственно в цепной ядерной реакции участвует только изотоп с атомной массой 235, из всего ископаемого урана только меньше одного процента массы участвует в генерации энергии на АЭС – остальная масса идёт в отвал. Возможно ли повысить эффективность использования добытого урана? Возможно, но для этого мы должны разобраться, какие преобразования испытывает ядерное топливо в процессе своего жизненного цикла.

Рассмотрим концепцию классического открытого ядерного топливного цикла. После добычи урановая руда направляется на переработку и обогащение. Обогащением называется процесс разделения различных изотопов урана, в результате которого количество полезного для выработки электроэнергии изотопа уран-235 в топливной смеси повышается с 0,7% до 3-

5%. Далее следует фабрикация полученной смеси в топливные сборки и непосредственная выработка электроэнергии на АЭС каждой такой сборкой в течение нескольких лет. Затем отработавшее ядерное топливо проходит стадию переработки (для возможного повторного использования) или захоронения в специальных условиях. Мы уже говорили, что при реализации такого подхода только не более 1% массы добытого природного урана является полезным с точки зрения генерации энергии.

Лишен такого недостатка другой перспективный подход – концепция замкнутого ядерного топливного цикла. Как известно из ядерной физики, при особых условиях возможно протекание иной ядерной реакции – конверсии урана. Эта реакция основана на взаимодействии с нейтронами уже не урана-235, а урана-238. Возможно создать условия, при которых уран-238 может поглотить нейтрон в ядерном реакторе и превратиться в новый элемент – плутоний. Плутоний, как и уран, имеет делящиеся изотопы и тоже может служить ядерным топливом. Реакторы, которые способны обеспечить особые условия для протекания такой реакции, принято называть «быстрыми» реакторами из-за большой энергии и скорости нейтронов. Тем самым, тратя 1 кг урана-235 на поддержание ядерной реакции и выработку электроэнергии, в таких реакторах можно получить до полутора раз больше нового топлива на основе плутония. В физике быстрые реакторы зачастую сравнивают с «печкой», в которую человек кладет 1 поленья, а после сгорания и получения тепла на выходе получает 2 новых поленья. Такое становится возможным сугубо из-за физических особенностей протекания ядерных реакций в разных веществах и является неоспоримым преимуществом ядерной энергетики. Ядерный топливный цикл на быстрых реакторах называется замкнутым, так как, единожды добыв урановую руду, можно многократно получать новый делящийся материал из урана-238, который в открытом цикле шёл в отвал.

Концепция замкнутого ядерного топливного цикла и использование быстрых реакторов, несмотря на свою физическую сложность для реализации, позволяет не только реактору самостоятельно обеспечивать себя новым топливом во время работы, но и нарабатывать новый делящийся материал для реакторов классической конструкции. Сегодня Россия является признанным в мире лидером по таким технологиям: в стране работают 2 энергетических реактора на быстрых нейтронах (реакторы БН-600 и БН-800 на Белоярской АЭС) и целый ряд опытных и исследовательских ядерных установок.

Новые проекты быстрых реакторов также активно разрабатываются на сегодняшний день и позволят в скором времени максимально использовать потенциал атомной энергии. Тем самым, как мы и упоминали ранее, атомная энергетика становится приближенной к возобновляемым источникам, ведь подобная регенерация ядерного топлива позволит увеличить мировой топливный потенциал на сотни или даже тысячи лет.

**К этапу 4. Потенциал атомной энергетики в труднодоступных регионах.**

Мы уже разобрались, что существенным недостатком классических методов генерации энергии при помощи сжигания невозобновляемых углеводородных ресурсов является недостижимость качественного обеспечения электроэнергией труднодоступных районов планеты: например, Арктики, регионов со сложными природно-климатическими условиями, или крайне удалённых от крупных агломераций населённых пунктов и производственных комбинатов. При этом затраты на передачу электроэнергии в таких условиях и на большие расстояния могут в несколько раз превышать стоимость её производства. Атомная энергетика в силу своей большой энергоёмкости топлива лишена этого недостатка. Единожды построив АЭС в таком регионе, возможно получать электроэнергию без доставки нового топлива в течение нескольких месяцев или даже лет.

В связи с этим сегодня Госкорпорация «Росатом» активно развивает направление, связанное с разработкой и строительством ядерных реакторов малой и средней мощности. Действительно, зачастую количество энергии, вырабатываемые типовыми ядерными реакторами, избыточно для нужд и задач, возникающих в труднодоступных регионах. Так, например, современный российский ядерный реактор ВВЭР-ТОИ вырабатывает более 1250 МВт электроэнергии, что гораздо больше потребности отдельно взятого завода, небольшого города или даже небольшой области России. Разрабатываемые реакторы малой мощности позволят размещать небольшой источник электроэнергии в непосредственной близости с её потребителем, что существенно удешевит конечное производство, а компактный размер таких АЭС позволит размещать их в удалённых районах и на ограниченных площадках.

Отдельно необходимо отметить существование такого проекта АЭС с реактором малой мощности, как плавучая атомная электростанция (ПАТЭС). С 2020 года в России функционирует первая в мире АЭС такого типа «Академик Ломоносов», расположенная в порту города Певек Чукотского автономного округа. Использование этой технологии позволяет существенно экономить трудозатраты на доставку оборудования для строительства АЭС, то есть изготавливать всю электростанцию в непосредственной близости от всей необходимой инфраструктуры, а далее просто направлять морем потребителям в труднодоступные регионы уже полностью сформированную станцию.

## **К этапу 5. Будущее ядерной энергетики – управляемый термоядерный синтез.**

Последнее, что необходимо упомянуть, рассматривая перспективы использования энергии ядра для генерации электричества – это концепция управляемого термоядерного синтеза. В отличие от традиционной ядерной энергетики, когда ядерная энергия высвобождается путём деления тяжёлых изотопов (урана, плутония и т.д.) на более лёгкие элементы, возможен и

обратный процесс: синтез ядер лёгких химических элементов в более тяжёлые, который также сопровождается выделением колоссальной энергии.

Такая реакция называется термоядерный синтез. Классическим примером термоядерного синтеза является соединение изотопов водорода (дейтерия и трития), в результате которого получается ядро гелия, нейтрон и выделяется большое количество энергии. Для протекания такой ядерной реакции необходимы определённые условия, как, например, достижение температуры в несколько миллионов градусов. Точно такие же реакции ядерного синтеза протекают в звёздах и на Солнце.

Достижение столь сложных условий протекания реакции в земных условиях тоже возможно. Существует множество методов получения и поддержания таких условий. Одним из таких методов является нагрев и удержание плазмы из синтезируемых материалов при высокой температуре при помощи магнитного поля. Сегодня этот метод экспериментально отрабатывается международной группой учёных в Проекте международного экспериментального термоядерного реактора ITER (исследовательский центр Кадараш, Франция). Активное участие в этом проекте принимает и Российская Федерация.

Так как изотопы водорода дейтерий и тритий довольно распространены в природе и их получение возможно даже из обычной воды, термоядерная энергетика станет абсолютно независимым от возобновления ресурсов источником энергии.

### **К этапу 6. Заключение.**

На сегодняшний день концепция «зелёного квадрата» представляется единственным возможным путём развития энергетики в мире. Развивая как возобновляемые источники энергии (вода, ветер, солнце), так и ядерную энергетику, человечество сможет организовать безопасное и дешёвое получение электроэнергии на многие тысячи лет.

Развитие современной атомной энергетики как безопасной и инновационной отрасли позволит в ближайшем будущем существенно снизить парниковые выбросы, по-настоящему освоить труднодоступные регионы планеты, а концепции замкнутого ядерного топливного цикла и термоядерной энергетики сделают энергию атома рентабельной на неограниченный срок.