

## **ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

---

УДК 336.2

**С. П. Высоцкий, д-р техн. наук<sup>1</sup>, В. С. Титкова<sup>2</sup>****1 – ГОУВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт  
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

*Урбанизация и увеличение количества используемых энергетических ресурсов вызывают ряд экологических проблем, связанных с обеспечением устойчивости развития собственных систем. Для решения проблем защиты окружающей среды наиболее рационально использование возобновляемых энергетических ресурсов. Проведен анализ эффективности применения различных энергоресурсов с точки зрения снижения их отрицательного воздействия на состояние окружающей среды.*

**Ключевые слова:** *окружающая среда, возобновляемые энергоресурсы, отходы, изменение климата, мощность электроносителей*

#### **Введение**

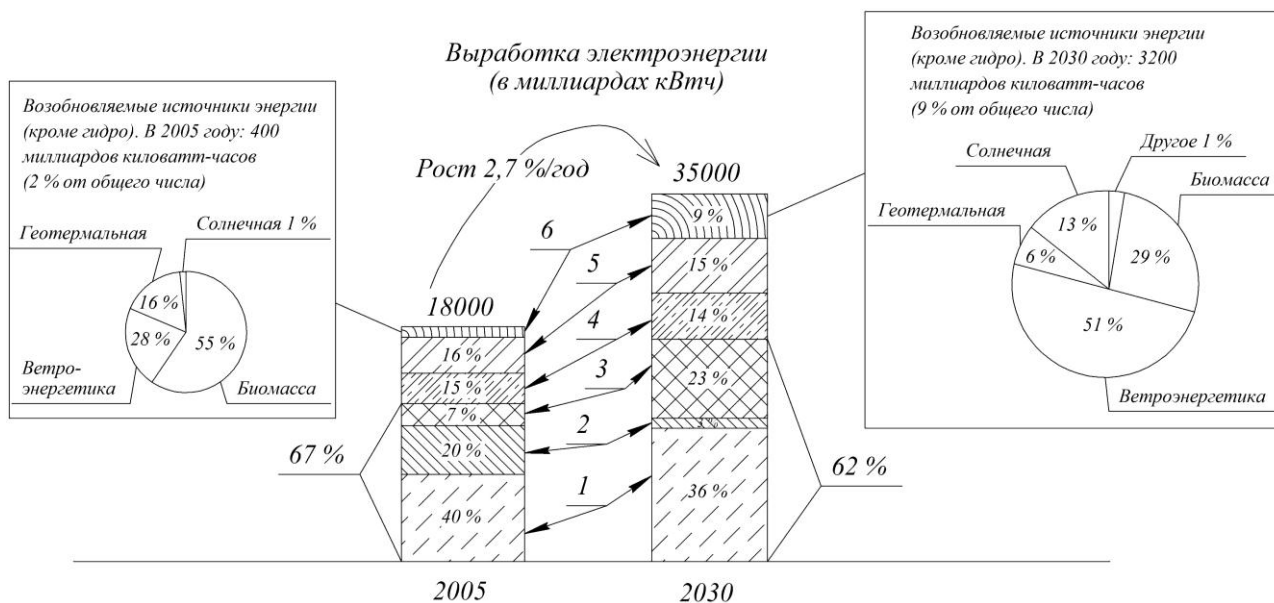
Увеличение численности населения в мире приводит к возрастанию потребления различных видов энергии – от традиционных до возобновляемых.

Потребление энергии при этом стремительно нарастает. Изменение генерации энергии с использованием различных источников представлено на рисунке 1 [1]. Из приведенных данных видно, что прогнозируемый рост генерации энергии составляет 2,7 % в год. Существенное ее увеличение произойдет за счет использования энергии Солнца (с применением прямых солнечных преобразователей), гидроэнергии и энергии ветра. Следует отметить, что энергия ветра и гидроэнергия являются производными от солнечной энергии. Несмотря на увеличение использования ископаемых источников энергии, их доля несколько снизится.

Обращает на себя внимание перераспределение генерации энергии по континентам и странам (рисунок 2). Прежде всего произойдет существенное увеличение генерации энергии в таких азиатских странах, как Китай и Индия. Соответствующее увеличение генерации энергии и массы парниковых газов почти в 1,5 раза в азиатском регионе приведет к возрастанию природных катаклизмов в мире.

#### **Цель исследования**

Анализ способов генерации электрической энергии с использованием ископаемых и возобновляемых энергоресурсов, методов повышения качества возобновляемых ресурсов и оценка влияния способа генерации энергии на состояние окружающей среды.



- 1) уголь; 2) нефтепродукты; 3) природный газ; 4) ядерная энергия;  
5) энергия гидроэлектростанций; 6) возобновляемые источники энергии

Рисунок 1 – Изменения генерации энергии (в млрд кВт.ч) [1]

*Развитие спроса на электроэнергию по регионам (в млрд. кВтч)*

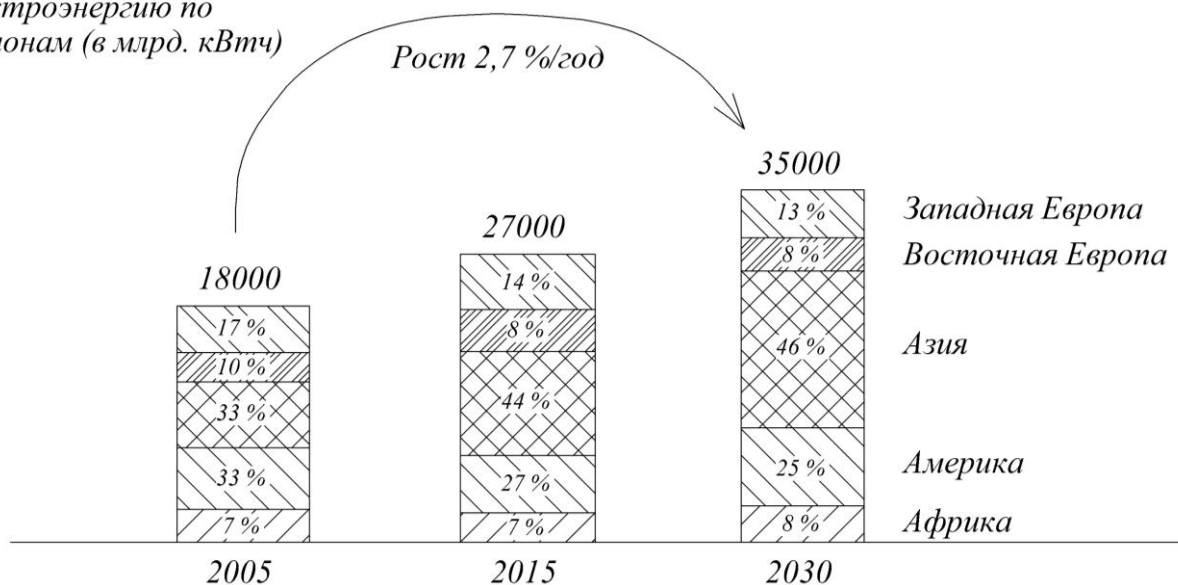


Рисунок 2 – Изменение энергопотребления и, соответственно, генерации энергии (в млрд кВт.ч) по континентам

### **Изложение основного материала**

Возобновляемые источники энергии все чаще используются в энергетическом секторе, и поэтому основное внимание сосредоточено на аспекте их взаимодействия с окружающей средой.

Несмотря на то, что и в прошлом использовались возобновляемые источники энергии, вопросу экологической безопасности их применения уделялось мало внимания, поскольку они считались экологически чистыми [2].

Экологические проблемы тесно связаны прежде всего с экономическим положением в конкретных странах, основными показателями которого являются ВВП на душу населения, а

также производство и потребление энергии (таблица 1).

Таблица 1 – Основные экономические и энергетические характеристики различных стран мира

Страна	Население, млн чел.	ВВП на душу населения по ППС, долл. США	Мощность электростанций ГВт (э)	Потребление электроэнергии	
				Всего, млрд кВт·час	На душу населения в год (кВт·час на 1 чел.)
США	325,7	59792	1063	4380,1	13448
Китай	1433	16696	1454	3684,5	2571
Россия	146,8	27893	244,1	1020,6	6952
Япония	127,8	36200	285,4	1079,8	8449
Индия	1393	7183	199,8	909,4	653
Украина	42,3	8713	52,8	149,8	3541

Из таблицы 1 видно, что удельное энергопотребление в развитых странах в 11–17 раз больше, чем в развивающихся.

В настоящее время возобновляемые источники энергии (ВИЭ) обеспечивают 14 % мирового спроса на энергию [2]. ВИЭ включают в себя энергию биомассы, гидроэнергетику, солнечную и ветровую энергию. Использование возобновляемых источников энергии вызывает ряд глобальных и локальных экологических проблем, что показано на рисунке 3.

Потребление энергетических ресурсов резко возрастает вместе с улучшением качества жизни, индустриализацией развивающихся стран и увеличением численности населения мира. Уже давно признано, что чрезмерное потребление ископаемого топлива не только приводит к увеличению темпов снижения их запасов, но также оказывает значительное неблагоприятное воздействие на окружающую среду, что вызывает ухудшение здоровья людей и угрозы глобального изменения климата [3].

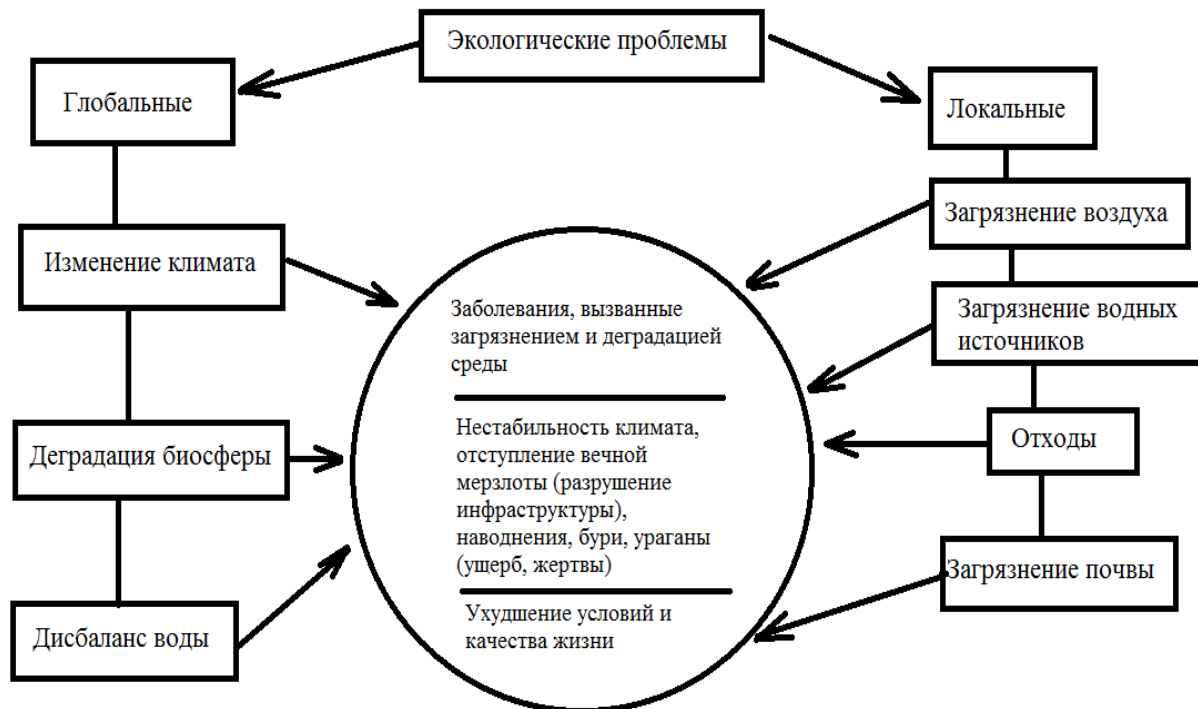


Рисунок 3 – Взаимосвязь глобальных и локальных экологических проблем

Требованиям улучшения окружающей среды, снижения потребления первичных энергоресурсов, генерации отходов и загрязнения воздуха парниковыми и потенциально кислыми

газами уделяется более широкое внимание во всем мире, особенно в развитых странах.

Из доклада Комиссии ООН по проблемам окружающей среды (UNEP) следует, что прогноз развития человечества до 2032 года является неутешительным. Под воздействием человеческой деятельности на планете будут происходить необратимые изменения. Более 70 % земной поверхности будет деформировано, более 1/4 всех видов животных и растений в мире будут безвозвратно потеряны. Безопасный воздух, чистая питьевая вода, ненарушенные ландшафты станут безвозвратным дефицитом, а способность природы к восстановлению от человеческого воздействия уменьшится [4].

Существует тенденция увеличения генерации электрической энергии во всех странах мира. Для генерации электрической энергии необходим первичный достаточно мощный энергоноситель. Энергетические ресурсы разделены на три категории: ископаемое топливо, возобновляемые ресурсы и ядерные ресурсы. Возобновляемые источники энергии – это те ресурсы, которые могут быть многократно использованы для получения энергии.

Солнечная энергия является одной из самых экологически чистых форм энергии. Потенциальный вред от использования солнечной энергии для окружающей среды появляется только при производстве фотоэлектрических преобразователей и утилизации отработанных элементов [5].

При использовании энергии ветра на ветровых электростанциях отсутствует эмиссия в атмосферу вредных выбросов, однако эксплуатация фактически работающих ветровых турбин позволила обнаружить ряд негативных явлений. К ним относятся: ущерб, нанесенный птицам и животным, создание механического и аэродинамического шума и мощных инфразвуковых колебаний, а также создание помех для воздушного движения [6].

При генерации электрической энергии на гидроэлектростанциях применяется возобновляемая энергия падающего потока воды, которая затем преобразуется в электричество. Основные экологические проблемы гидроэлектростанций связаны с созданием водохранилищ и затоплением больших площадей плодородных земель [6].

Геотермальная энергия оказывает основное отрицательное воздействие на окружающую среду при разработке месторождения, строительстве водопроводных труб и зданий, но обычно местоположение этого вида энергии ограничено областью месторождения [7].

Энергия биомассы считается наиболее экологически безопасной отраслью энергетики, так как она способствует снижению загрязнения окружающей среды всевозможными отходами (животноводческими, бытовыми, лесной и деревообрабатывающей промышленности и т. д.). Производство биогаза путем анаэробного сбраживания обеспечивает значительные преимущества перед другими видами получения биоэнергии и оценивается, как одно из наиболее энергоэффективных и экологически чистых технологий для производства биоэнергии.

Для производства биогаза используется различное сырье. Сырьем являются органические отходы домашних хозяйств и пищевой промышленности, энергия сельскохозяйственных культур и сельскохозяйственных отходов – таких, как растительные остатки и навоз. Большое количество навоза животных в секторе животноводства представляет постоянный риск загрязнения с потенциальным негативным воздействием на окружающую среду [7].

Для предотвращения выбросов парниковых газов и выщелачивания питательных веществ и органического вещества в окружающую среду необходимо выделить контурные системы от производства до использования сельскохозяйственных культур и отходов их выращивания, а также оптимальные меры по рециркуляции (рисунок 4).

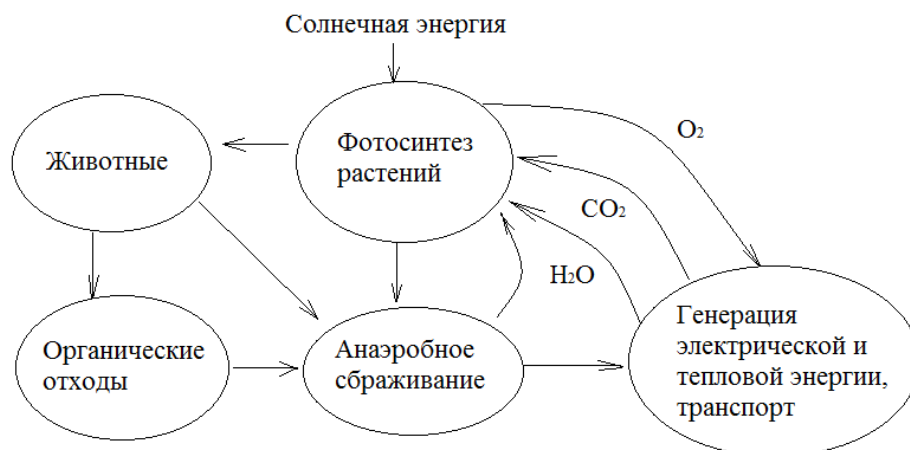


Рисунок 4 – Схематическое представление устойчивого цикла анаэробного совместного сбраживания навоза животных и органических отходов

Биогаз представляет собой смесь газов, которая состоит в основном из 50–87 % метана, 13–50 %  $\text{CO}_2$ , незначительных примесей  $\text{H}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$ . Понятие «биомасса» включает в себя все многообразие естественной растительной органики (древесину, торф, водоросли, листья); растительные отходы сельскохозяйственной деятельности (солому, шелуху подсолнечника, ботву, скорлупу орехов); отходы промышленных производств, прежде всего лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности, целлюлозно-бумажных комбинатов; специально выращенные на энергетических плантациях быстрорастущие растения (сорго, рапс, мискантус, тополь, осина, ива); органическая часть бытовых отходов. Запасы биомассы (и в первую очередь древесины) огромны.

Для повышения потребительских свойств биомассы применяется торрефикация. Процесс торрефикации заключается в нагреве исходного сырья в инертной газовой среде до температуры торрефикации, и выдержке при этой температуре в течение заданного времени. При нагревании биомассы происходит ее термическое разложение, в результате которого образуются летучие продукты и твердый остаток с повышенным содержанием углерода. В состав летучих веществ входят неконденсирующиеся газы –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{C}_n\text{H}_m$  (среди газообразных углеводородов основным является  $\text{CH}_4$ ) и пары пирогенетической воды, различных кислот и смол. Последние – при нормальных температурных условиях, формируют жидкую фракцию. На рисунке 5 представлен примерный состав продуктов торрефикации. Состав каждой из фракций и количественное соотношение между ними зависят от типа биомассы, температуры торрефикации и в меньшей степени от скорости нагрева.

Наглядное представление об элементном составе различных видов твердого топлива дает диаграмма Ван Кревелена [8], представленная на рисунке 6. На диаграмме приведены данные для необработанной древесины, торрефицированной древесины с указанием температуры торрефикации (в скобках), древесного угля, каменного угля и торфа. Согласно диаграмме Ван Кревелена торрефицированная биомасса приближается к твердым топливам, обладающим более высокими значениями теплоты сгорания. Эта тенденция сохраняется как при увеличении температуры торрефикации, так и при возрастании времени выдержки. Стоит отметить, что тип биомассы также оказывает сильное влияние на режимные параметры и свойства конечного продукта процесса торрефикации. Так, при одинаковых условиях (температура торрефикации – 290 °С, время – 30 мин) массовые потери соломы пшеницы (содержание гемицеллюлозы составляет 30,8 %) существенно превышают таковые для древесины ивы (концентрация гемицеллюлозы равна 14,1 %).



Рисунок 5 – Продукты торрефикации биомассы

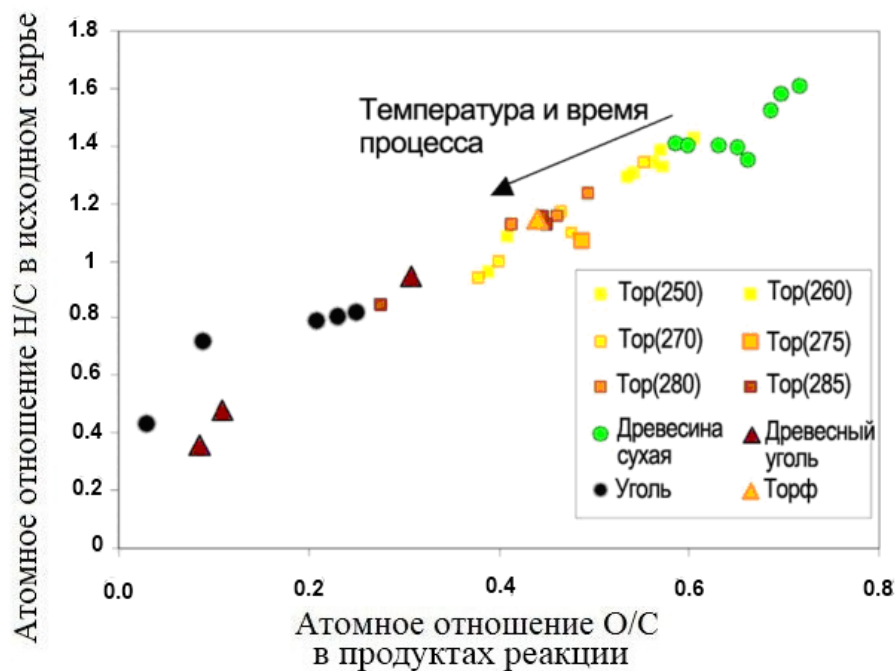


Рисунок 6 – Диаграмма Ван Кревелена для различного топлива (в скобках указана температура торрефикации) [8]

Данные о применении (в процентах, %) традиционных и возобновляемых источников энергии в отдельных странах мира приведены в таблице 2 [9].

При рассмотрении влияния на окружающую среду выбросов вредных веществ установлено, что наибольшая эмиссия загрязнений имеет место при сжигании угля, эмиссия снижается в два раза при сжигании нефти и природного газа. Сопоставимая величина эмиссии имеет место при использовании генерации энергии в солнечных батареях и применении гидроэнергии и энергии ветра (рисунок 7).

Таблица 2 – Использование традиционных и альтернативных видов энергии в различных странах мира

Страны	Углеводороды и ядерное топливо (%)	Возобновляемые источники (в том числе гидроэнергия), %
Канада	83,5	16,5 (12,1)
Норвегия	50,4	49,6 (44,7)
Россия	96,6	3,4 (2,3)
Финляндия	75,1	24,9 (3,9)
Швеция	67	33 (14,4)
Украина	34,2	2,8 (12)
Мировая экономика	86,5	13,5 (2,2)

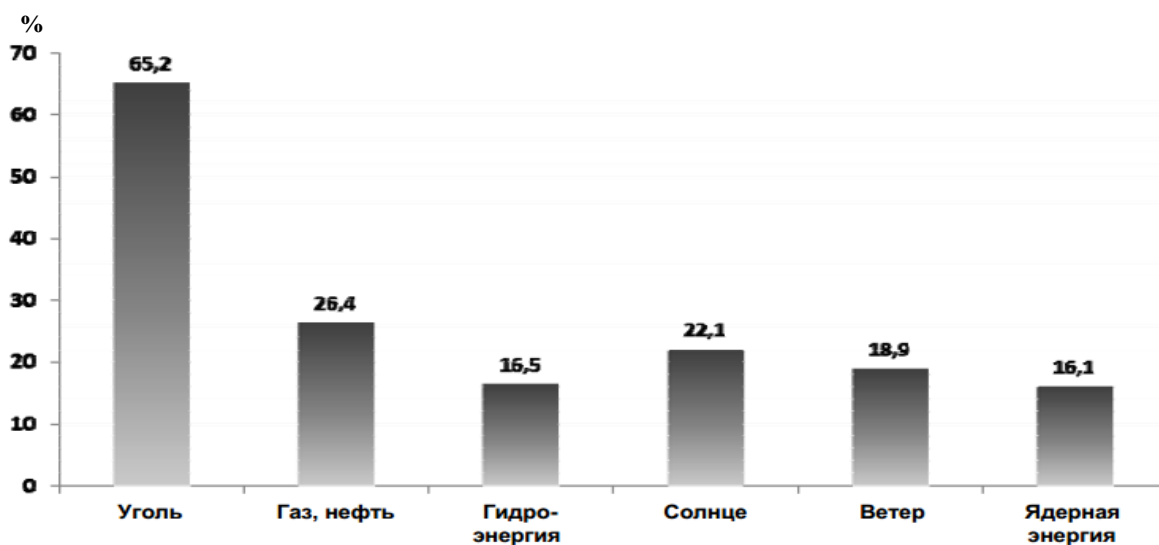


Рисунок 7 – Суммарный комплексный показатель (в процентах) вредного воздействия различных источников энергии на окружающую среду и человека

Каждый из рассматриваемых видов энергии влияет на состояние окружающей среды и здоровье людей. Степень влияния различных видов энергии зависит от того, на какой стадии происходит использование тех или иных энергоресурсов: при производстве энергоносителей, эксплуатации генерирующего оборудования, а также при переработке отходов после истечения жизненного цикла энергетических устройств.

### **Выводы**

1. Экологические характеристики различных видов энергии, описанные в статье, проявляются в размещении электростанций, сбросе отходов и загрязнении атмосферы и литосферы продуктами сгорания.

2. Процесс торрефикации является прогрессивным методом термической обработки топлива из биомассы. В результате топливные pellets становятся гидрофобными, а их теплота сгорания увеличивается по сравнению с исходным состоянием. Торрефицированная биомасса, как конечный продукт, может быть использована при совместном сжигании биомассы с углем в пылеугольных котлах, при сжигании в pelletных котлах и при газификации (получение газа с повышенными теплотехническими характеристиками).

3. Перспективным направлением является создание систем энергоснабжения с использованием соломенных рулонов в качестве альтернативных источников тепла для выработки электричества и горячей воды. Солома зерновых культур является потенциально важным для сельскохозяйственных регионов видом биомассы. Этот вид биомассы в нашей

стране в энергетических целях практически не используется.

4. Сравнивая экологические характеристики различных видов энергии, можно сделать вывод, что наименьший ущерб окружающей среде при производстве энергии наносится при использовании возобновляемых источников энергии, которые имеют, кроме того, и самый низкий показатель платежей за загрязнение. Из возобновляемых источников энергии минимальный уровень загрязнения приходится на малые гидроэлектростанции, а максимальный – на солнечные электростанции.

### **Список литературы**

1. Potentials and prospects for renewable energies at global scale / G. Resch, A. Held, T. Faber [et al.]. – Текст : электронный // Energy Policy. – 2008. – V. 36. – P. 4048–4056. – URL: <https://socionet.ru/publication.xml?h=реперс:eee:enepol:v:36:y:2008:i:11:p:4048-4056>.
2. Грачев, А. С. Глобальные экологические проблемы / А. С. Грачев, О. В. Плямина // Век глобализации. – 2017. – № 1. – С. 86–97.
3. Panwar, N. L. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review / N. L. Panwar, S. C. Kaushik, Kothari Surendra // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – № 15. – P. 1513–1524.
4. Global Energy Statistical Yearbook 2019 : [сайт]. – Grenobl' Frantsiya. – URL: <https://yearbook.enerdata.net>. – Текст : электронный.
5. Современное развитие технологий генерации энергии из возобновляемых источников / В. Б. Сажин, И. Селдинас, О. С. Кочетов [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2008. – Т. 22, № 9 (89). – С. 104–120.
6. Классификация возобновляемых источников энергии. – Текст : электронный // Умный дом и энергосбережение [сайт]. – URL: <https://avtonomny-dom.ru/ekonomiya-elektroenergii/vidyi-vozobnovlyaemyih-istochnikov-energii.html>.
7. Nielsen, J. B. H. The future of anaerobic digestion and biogas utilization / J. B. H. Nielsen, T. A. Seadi, P. O. Popiel // Bioresource Technology. – 2009. – V. 100. – P. 5478–5484.
8. BP Statistical Review of World Energy. – June 2012. – URL: <https://www.laohamutuk.org/DVD/docs/BPWER2012report.pdf>. – Текст : электронный.
9. Schill, W. P. Residual load, renewable surplus generation and storage requirements in Germany / W. P. Schill. – Текст : электронный // Energy Policy. – 2014. – October (v. 73). – P. 65–79. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.032>.

**С. П. Высоцкий<sup>1</sup>, В. С. Титкова<sup>2</sup>**

**1 – ГОУВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,**

**г. Макеевка, 2 – Автомобильно-дорожный институт**

**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

**Экологические показатели использования возобновляемых ресурсов  
для генерации электрической и тепловой энергии**

Значительный рост потребления энергии и соответствующего использования энергоресурсов вызывают непредсказуемые опасные изменения в окружающей среде. Для минимизации указанных изменений необходимо более широкое применение возобновляемых энергетических ресурсов. Выполнен анализ текущего и прогнозируемого потребления различных ресурсов в отдельных странах и в целом мире. Увеличение дифференциации потребления энергоресурсов, прежде всего за счет резкого увеличения доли выработки энергии в таких странах, как Китай и Индия, может привести к интенсификации появления природных катаклизмов. Это обусловлено дифференциацией эмиссии парниковых газов и изменениями разности температур над отдельными континентами на планете.

Анализ экологических издержек использования различных видов топлива показывает, что наибольший вред окружающей среде происходит при сжигании угля, на втором месте по этим показателям идут нефть и природный газ. Использование солнечной энергии с применением электрических преобразователей, гидроэнергии и геотермальной энергии имеют близкие значения отрицательного воздействия на состояние окружающей среды. Отрицательные воздействия могут быть распределены во времени: при производстве энергоносителей, эксплуатации генерирующего оборудования, а также при переработке отходов после исчерпания жизненного цикла энергетических устройств.

Анализ использования возобновляемых ресурсов показывает, что повышение эффективности их сжигания может быть достигнуто за счет предварительной торрефикации. Торрефицированное топливо может ис-



пользоваться для генерации тепловой или электрической энергии при совместном сжигании с ископаемыми видами топлива или при раздельном сжигании в специально оборудованных котлах.

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ, ОТХОДЫ, ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, МОЩНОСТЬ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

*S. P. Vysotskiy<sup>1</sup>, V. S. Titkova<sup>2</sup>*

*1 – Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka,*

*2 – Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*  
**Ecological Indicators of the Renewable Resources Use for Electrical and Thermal Power Generation**

Considerable growth of energy consumption and respective use of energy resources cause unpredictable dangerous changes in the environment. To minimize indicated changes it is necessary to use renewable energy resources more widely. The analysis of current and predictable consumption of various resources in separate countries and in the whole world is carried out. Increased differentiation of energy resources, primarily due to the sharp increase in the share of energy production in such countries as China and India, can lead to the intensification of nature convulsions. This is due to the differentiation of greenhouse gas emissions and changes in differential temperature over certain continents on the planet.

The analysis of environmental side effects of various fuel types use shows that the greatest damage to the environment is caused by coal firing, in the second place in terms of these indicators are oil and natural gas. The application of solar energy using electric transducers, waterpower and geothermal energy have similar importance of negative environmental impact. Negative effects can be distributed in time: in the production of energy resources, during operation of generating equipment and in the processing of wastes after exhausting the life cycle of energy devices.

The analysis of renewable resources use shows that efficiency improvement of their combustion can be achieved through pre-torrefaction. Torrefacted fuel can be used to generate thermal and electrical energy in co-combustion with fossil fuels or in separate combustion in specially equipped boilers.

ENVIRONMENT, RENEWABLE ENERGY RESOURCES, WASTE MATERIALS, CLIMATE FLUCTUATION, POWER OF ENERGY RESOURCES

**Сведения об авторах:**

**С. П. Высоцкий**

SPIN-код: 7497-0100  
 Scopus Author ID: 7004891012  
 ORCID ID: 0000-0002-2988-7245  
 Телефон: +38 (071) 391-35-97  
 Эл. почта: sp.vysotsky@gmail.com

**В. С. Титкова**

Телефон: +38 (071) 391-35-97

*Статья поступила 01.04.2019*

*© С. П. Высоцкий, В. С. Титкова, 2019*

*Рецензент: А. П. Карпинец, канд. хим. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»*