

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

**Майсюк Елена Петровна**

К.э.н., с.н.с. лаборатории энергоснабжения децентрализованных потребителей

e-mail: maysyuk@isem.irk.ru

**Иванова Ирина Юрьевна**

К.э.н., в.н.с., зав. лабораторией энергоснабжения децентрализованных потребителей

e-mail: nord@isem.irk.ru

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

**Аннотация.** В статье анализируются методы оценки воздействия энергетических объектов на элементы природной среды. Более подробно рассмотрены методы оценки воздействия объектов генерации энергии. В качестве основных предлагается использовать официально утвержденные методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу электростанциями и котельными. Рассмотрены различные методы расчета количества образования золошлаковых отходов от объектов генерации энергии. И здесь предлагается использовать метод материально-сырьевого баланса. В статье показано, что для проведения расчетов требуется широкий перечень показателей, которые можно сгруппировать по характеристикам топлива, энергетического и очистного оборудования. Для применения проанализированных методов необходимы создание обширной базы данных и разработка информационно-аналитической системы, как инструментария для оценки воздействия энергообъектов на окружающую среду.

**Ключевые слова.** Энергетические объекты, элементы природной среды, методы и модели, выбросы загрязняющих веществ, золошлаковые отходы, моделирование, Web-ориентированная информационная система, база данных.

**Цитирование:** Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Анализ существующих методов оценки воздействия энергетических объектов на окружающую среду // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №4(12). С. 113–127. DOI: 10.25729/2413-0133-2018-4-12

**Введение.** Исследования оценки влияния энергетики на окружающую среду ведутся в рамках международного проекта, при поддержке фондов ЕАПИ<sup>1</sup>-РФФИ, совместно с коллективами ученых Беларуси и Армении. В статье рассматриваются основные положения и результаты проекта, выполняемого российской стороной<sup>2</sup>. Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлен Проект, заключается в разработке методов и геоинформационных технологий для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона. В

<sup>1</sup> ЕАПИ - Евразийская Ассоциация поддержки научных исследований, учрежденная в июле 2016 г. по инициативе РФФИ совместно с партнерскими организациями Белоруссии, Армении, Киргизии и Монголии.

<sup>2</sup> Международный проект «Методы и технологии оценки влияния энергетики на геоэкологию региона» выполняется, с Российской стороны, при поддержке гранта РФФИ № 18-57-81001, под руководством Л.В. Массель.

этой связи, первоочередной задачей исследований является анализ существующих методов и моделей оценки воздействия энергетических объектов на элементы природной среды: атмосферу, водные объекты и почвы.

В целом оценка вредного воздействия объектов энергетики на окружающую среду проводится на основе системного анализа, в котором все процессы взаимосвязаны на различных уровнях производства: добыча топливно-энергетических ресурсов, их преобразование в конечный продукт (электрическую и/или тепловую энергию, продукты переработки углеводородного топлива) и передача его конечному потребителю.

При добыче топливно-энергетических ресурсов (нефти, природного газа, угля, торфа и пр.) наибольшее воздействие связано с нарушением ландшафтов и образованием значительного количества отходов, происходит изъятие значительных территорий. В водные объекты и на рельеф местности, где производится добыча, поступают смывные воды и буровые отходы, которые, как правило, не очищаются.

Производство электрической и/или тепловой энергии – генерация – в большей степени связано с воздействием на атмосферу, куда поступают загрязняющие вещества в результате сжигания органического топлива. Характерными вредными примесями от объектов энергетики являются: водяной пар, углерод (сажа), сланцевая зола, мазутная зола ТЭЦ в пересчете на пятиокись ванадия, пыль неорганическая, взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, бенз(а)пирен, а также ряд тяжелых металлов [15]. В водные объекты, как правило, поступают подогретые нормативно-чистые воды, которые могут нарушать гидробиологический режим и изменять химический состав вод. Воздействие генерации энергии на природную среду характеризуется также и образованием значительного количества золошлаковых отходов, которые, в свою очередь, требуют изъятия больших территорий под их складирование в золоотвалах.

Кроме того, производство энергии, добыча энергоресурсов и их передача потребителю связаны с шумовым, тепловым и электромагнитным воздействием на человека и природную среду.

В целом же, наибольшее воздействие энергетических объектов на природную среду происходит через атмосферу, куда попадает значительный объем вредных веществ, способных при определенных условиях распространяться на большие расстояния и площади, вымываться из воздуха и осаждаться на водные поверхности и почвы.

**1. Общая характеристика методов оценки воздействия на природную среду.** Для оценки негативного воздействия энергетики на природную среду в настоящее время разработаны различные методические подходы и математические модели.

В целом эти методы можно классифицировать следующим образом: проведение экологических экспертиз, в том числе и оценка воздействия на окружающую среду; оценки рисков и ущербов; определение индикаторов устойчивого развития; комбинированные методы, как сочетание различных подходов. Каждый из обозначенных методов имеет свои достоинства и недостатки и может применяться в зависимости от задачи, которую необходимо решить [17].

Комбинирование разных методов оценки влияния объектов энергетики на природную среду позволяет пользоваться разными математическими инструментами и применять имеющуюся в доступе информацию для расчетов, а также в наибольшей степени учитывать региональные особенности. Важна эколого-экономическая оценка вариантов развития

энергетики региона, позволяющая осуществить поиск соответствия между антропогенной нагрузкой и способностью природной среды принять её без необратимых негативных последствий [10].

Комбинирование различных методов и моделей для проведения оценок воздействия энергетических объектов позволяет проводить прогнозные оценки и разрабатывать заблаговременно конкретные природоохранные мероприятия. При этом важно учитывать региональные особенности каждой конкретной территории, которые оказывают влияние как на величину эмиссии загрязняющих веществ, так и на их рассеивание в атмосфере [7, 20].

Методическую основу оценки воздействия на окружающую среду составляет, как показано выше, системный подход, в котором могут использоваться непосредственные натурные наблюдения и данные мониторинга текущего состояния, в том числе статистическая и отчетная информация предприятий.

Для прогнозирования моделируются процессы воздействия с использованием методов аналогий или с применением предельно допустимой нормы (нагрузка на элементы природной среды), так называемая оптимизация техногенного воздействия.

В 70-80-е годы XX в. наибольшее развитие в прогнозировании получил метод географических аналогий, который позволяет: 1) определить размеры зон и поясов влияния технических (энергетических) объектов на отдельные элементы природной среды; 2) наметить основные тенденции в изменении состояния элементов природной среды, исходя из специфики функционирования объекта; 3) выявить временные стадии развития процесса влияния [11].

Широко распространен метод сопряженного анализа карт, позволяющий определять и демонстрировать масштабы распространения воздействия. Система потоковых диаграмм позволяет описывать природные системы как сложные структуры массообмена. Метод имитационного моделирования, как разновидность математического моделирования, отражает количественные зависимости и позволяет рассматривать социальные и природные системы как непрерывно развивающиеся и изменяющиеся.

Метод экспертных оценок, несмотря на его субъективность, служит для определения экологических ограничений различных производственных процессов [11].

Наиболее широко при оценке воздействия используются методы математического моделирования и вычислительного эксперимента. Существуют и постоянно совершенствуются математические модели техногенных эмиссий, распространения загрязнителей в атмосфере, самоочищения водных экосистем. В настоящее время появились и широко используются для этих целей геоинформационные системы [11].

Так, например, для предприятий угледобычи для оценки экологических показателей воздействия угольных предприятий можно применить метод интегрального показателя [2]. Сущность этого метода заключается в системном подходе к имитационному моделированию антропогенной нагрузки региона с использованием ГИС-технологий и пространственного анализа данных для прогнозирования экологических последствий от развития угледобычи. В работе [2] описаны математическая модель и технология имитационного моделирования экологических показателей, а также способ визуализации получаемых результатов на примере Кузнецкого угольного бассейна. Показатели определяются количеством загрязняющих веществ, выделяемых при ведении горных работ, оценкой экологического

риска, моделированием экологической емкости региона, анализом экологической безопасности в зоне ведения горных работ.

## **2. Методы оценки воздействия от объектов генерации**

**2.1. Оценка выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов генерации.** Как показано выше, наибольшее воздействие объектов генерации связано с эмиссией загрязняющих веществ в атмосферу. К основным методам оценки влияния объектов энергетики на природную среду относятся официально утвержденные методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу электростанциями и котельными установками разной мощности [5, 6, 9, 18].

В настоящее время в Российской Федерации регулирование воздействия на природную среду от энергетических объектов осуществляется на основе ограничения выбросов отдельных загрязняющих веществ и фактически сводится к установлению норматива допустимого выброса в совокупности от всех действующих источников выброса на рассматриваемой территории. Соответственно для каждого предприятия важно правильно определить свой вклад в предельно-допустимый выброс (ПДВ) региона.

С экологической точки зрения определение ПДВ должно показать возможность или невозможность функционирования генерирующих объектов в конкретном регионе. Станут ли рассчитанные с учетом региональных особенностей допустимые выбросы ограничивающим фактором развития энергетики. Ведь зачастую норматив ПДВ рассчитывается природоохранными органами по заказу предприятия-источника эмиссии с тем выбросом (или близким к нему), которое предприятие и осуществляет.

В целом же при расчете выбросов вредных веществ в атмосферу от генерирующих предприятий руководствуются нормативно-техническими данными (нормами расчета котельных установок) и базовыми нормативами эксплуатации энергетического оборудования [21]. При проведении расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов энергетики с помощью утвержденных методик следует учитывать, что для различных энергоустановок ингредиентная структура выбросов может различаться.

В целом количество выбросов загрязняющих веществ зависит от типа топлива, его качественного состава и количества (расхода топлива), условий сжигания в котельных установках и работы очистного оборудования. При сжигании углей рассчитывается наиболее полный перечень ингредиентного состава выбросов: твердые вещества (М<sub>тв</sub>), диоксид серы (М<sub>s</sub>), оксиды азота (М<sub>n</sub>), бенз(а)пирен (М<sub>бр</sub>), окись углерода (М<sub>со</sub>). При сжигании мазута, кроме выше перечисленных, проводится расчет выброса мазутной золы в пересчете на пятиокись ванадия. При использовании в котельных установках природного газа рассчитываются только выбросы оксидов азота и углерода.

В основе расчета всех методик лежат математические зависимости с подробным набором основных показателей, которые можно сгруппировать в три группы, характеризующие: топливо (табл. 1), энергетическое оборудование (табл. 2) и очистное оборудование (табл. 3).

**Таблица 1.** Основные показатели топлив, необходимые для расчета выбросов от объектов генерации

Показатель	Единицы изм.	Масса выброса, т/год				
		M <sub>ТВ</sub>	M <sub>s</sub>	M <sub>n</sub>	M <sub>co</sub>	M <sub>bp</sub>
Расход топлива	т/год	+	+	+	+	+
Влажность на рабочую массу	%	+		-	-	+
Зольность на рабочую массу	%	+	-	-	-	-
Содержание серы на рабочую массу	%	-	+	-	-	+
Содержание азота на рабочую массу	%	-	-	+	-	+
Содержание углерода на рабочую массу	%	-	-	-	+	+
Содержание кислорода на рабочую массу	%	-	-	-	-	+
Содержание водорода на рабочую массу	%	-	-	-	-	+
Теплотворная способность	кДж/кг	+	-	+	+	+
Доля золы, связанная топливом	%	+	-	-	-	+
Гранулометрический состав топлив	мкм	+				+
Доля оксидов серы, связанная летучей золой	б/р	-	+	-	-	-

**Таблица 2.** Основные показатели и характеристики энергетического оборудования, необходимые для расчета выбросов от объектов генерации

Показатель	Единицы изм.	Масса выброса, т/год				
		M <sub>ТВ</sub>	M <sub>s</sub>	M <sub>n</sub>	M <sub>co</sub>	M <sub>bp</sub>
Химический недожег топлива	%	-	-	+	+	-
Механический недожег топлива	%	+	-	+	+	+
Доля золы в уносе	б/р	+	-		-	-
Степень рециркуляции уходящих газов	%	-	-	+	-	-
Коэффициент избытка воздуха	б/р	-	-	+	-	+
Коэффициент тепла при химической неполноте сгорания топлива	б/р	-	-	-	+	-
Площадь зеркала горения	м <sup>2</sup>	-	-	+	-	+
Коэффициент конструкции горелки	б/р	-	-	+	-	-
Коэффициент типа шлакоудаления	б/р	-	-	+	-	-
Коэффициент содержания азота в топливе	б/р	-	-	+	-	-
Паро-, /или теплопроизводительность котла	т/ч, / ГДж/ч	-	-	+	-	+
Коэффициент эффективности рециркуляции газов	б/р	-	-	+	-	-
Объем топочной камеры	м <sup>3</sup>	-	-	+	-	+
Зеркало горения	м <sup>2</sup>	-	-	+	-	+
Коэффициент подачи воздуха в топку	б/р	-	-	+	-	-
Доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела	%	-	-	+	-	-

Большинство из этих показателей выбираются из справочной литературы или по данным энергопредприятий. Как видно из табл. 1-3, наибольшее количество показателей требуется для расчетов выбросов оксидов азота и бенз(а)пирена, что характеризует достаточно сложный алгоритм расчетов эмиссии этих веществ. Подробные алгоритмы расчетов выбросов представлены в соответствующих методиках определения выбросов загрязняющих веществ от энергоустановок разной мощности [5, 6, 9, 18].

**Таблица 3.** Основные показатели и характеристики очистного оборудования, необходимые для расчета выбросов от объектов генерации

Показатель	Единицы изм.	Масса выброса, т/год				
		M <sub>ТВ</sub>	M <sub>s</sub>	M <sub>п</sub>	M <sub>со</sub>	M <sub>bp</sub>
Степень золоулавливания	%	+	-	-	-	+
Степень связывания серы в мокром золоуловителе	%	-	+	-	-	+
Степень сероулавливания	%	-	+	-	-	-
Доля оксидов серы, уловленная в мокром золоуловителе	б/р	-	+	-	-	-
Степень улавливания азота в установках по связыванию/подавлению азота	%	-	-	+	-	-
Коэффициент улавливания бенз(а)пирена в золоуловителях	б/р	-	-	-	-	+

Кроме того, для крупных объектов генерации перечень показателей может быть дополнен в случае проведения расчетов выбросов с учетом залповых выбросов, связанных с очисткой поверхностей нагрева котельной установки [1]. Эти расчеты учитывают способы очистки (дробевой, дутьевой, импульсный и т.д.) и влияет на изменение объемов выбросов твердых частиц и бенз(а)пирена.

С использованием данной методологии, адаптированной к условиям исследуемой территории, могут определяться экологическая оценка существующего состояния и вклад энергетики в негативное воздействие на окружающую среду.

**2.2 Оценка массы образующихся отходов от объектов энергетики.** В последнее время все больше внимания уделяется необходимости проведения как качественной, так и количественной оценки воздействия отходов производства и потребления от объектов энергетики на природную среду и человека. Качественная оценка воздействия отходов на природную среду предполагает учет влияния не только за счет отторжения значительных территорий под складирование и изъятия из хозяйственного оборота земель разного назначения (лесных, степных, сельскохозяйственных), но и за счет поступления токсичных веществ от отходов (отвалов) путем: ветровой эрозии, фильтрации, деформации и деструкции почвенно-растительных компонентов природной среды с потерей их биологической продуктивности [22]. Воздействие отходов происходит как через почвы, так и воздушный бассейн: пыление; гниение продуктов переработки с выделением метана, полициклических углеводородов, сероводорода и др. загрязняющих веществ; горение отвалов с отходами угледобычи.

Кроме того, отходы от объектов энергетики (отвалы от добычи угля, буровые шламы газо- и нефтедобычи, золошлаковые отходы) обладают радиоактивностью, что связано с содержанием различных радиоактивных элементов в исходном сырье (топливе). В результате нарушения радиоактивного равновесия при добыче, переработке или трансформации органических топлив происходит рост миграционной подвижности различных элементов, что приводит к увеличенной радиоактивности. Следует отметить, что золошлаковые отходы, полученные путем термической трансформации от сжигания углей, могут иметь повышенную концентрацию различных радиоактивных элементов (урана, радия, тория и др.). Это связано с тем, что уголь, как природный сорбент, способен

накапливать естественные радиоактивные элементы, и при сжигании их содержание в золе и шлаке может увеличиваться в 3-10 и более раз [14]. Проблема радиоэкологической безопасности углей, летучей золы (не уловленной в очистном оборудовании), а также золошлаковых отходов и продукции из них требует повышенного внимания. Необходимо проводить постоянный мониторинг содержания радиоактивных элементов сжигаемого угля на объектах энергетики, разрабатывать методики оценки воздействия отходов энергетических объектов.

Количественные оценки воздействия отходов связаны с определением их массы. В настоящее время официально утвержденные методики расчета количества отходов производства и потребления как от объектов генерации энергии (золошлаковые отходы), так и от предприятий по добыче топливно-энергетических ресурсов, не разработаны. Однако для различных отраслей хозяйственной деятельности имеются методики расчета нормативного количества образования отходов производства и потребления, так называемый нормативный метод.

Нормативный метод расчета образования и размещения золошлаковых отходов (ЗШО) основывается на учете содержания загрязняющих веществ в золошлаках и предельно-допустимых концентраций (ПДК) этих веществ [8]. Нормированный объем золошлаков, помещаемый в конкретный накопитель, выражается в виде величины общего их годового объема, ограничиваемой понижающими коэффициентами, учитывающими степень распространения токсичных веществ из накопителя в окружающую среду, в зависимости от выполнения мероприятий по охране окружающей среды. Если предприятие имеет для складирования золошлаков не один накопитель, расчет объемов ведется для каждого из них отдельно.

При определении количества образования золошлаковых отходов могут применяться следующие методы [13]:

- метод расчета по материально-сырьевому балансу;
- метод расчета по удельным показателям образования отходов;
- расчетно-аналитический метод, который применяется при наличии конструкторско-технологической документации (технологических карт, рецептур, регламентов, рабочих чертежей) на производство продукции, при котором образуются отходы.

Количество золошлаковых отходов на основе *материально-сырьевого баланса* складывается из массы шлака ( $M_{шл}$ ), образующегося от сжигания твердого топлива, и летучей золы, уловленной из уходящих газов ( $M_{з,ул}$ ), формула (1):

$$M_{зшо} = M_{шл} + M_{з,ул} \quad (1)$$

где  $M_{зшо}$  – количество золошлаковых отходов, т/год.

Выход шлака зависит от расхода топлива, его зольности и содержания в шлаке несгоревших углеродных частиц (горючих веществ в шлаке). Количество уловленной золы зависит от объема выброса твердых частиц в атмосферу, и, в частности, от содержания горючих веществ в уносе, а также степени золоулавливания очистного оборудования. Как правило, содержание горючих веществ в шлаке и в уносе определяется путем замеров на предприятии. В случае отсутствия данных о количестве горючих веществ расчет количества золошлаковых отходов проводят по формулам (2-3):

$$M_{\text{шл}} = 0,01 * B * A^P - 0,01 * B * (a_{\text{ун}} * A^P + (q_4 * (\frac{Q_H^P}{32680}))), \quad (2)$$

$$M_{\text{з,ул}} = 0,01 * B * (a_{\text{ун}} * A^P + (q_4 * (\frac{Q_H^P}{32680}))) * (\frac{\eta}{100}), \quad (3)$$

где: B – расход топлива, т/год;

$A^P$  – зольность топлива на рабочую массу, %;

$a_{\text{ун}}$  – доля золы в уносе;

$q_4$  – потеря тепла с механическим недожогом топлива, %;

$Q_H^P$  – теплотворная способность топлива, кДж/кг;

32680 – теплота сгорания условного топлива, кДж/кг;

$\eta$  – степень улавливания золы в золоуловителе, %.

При наличии золоуловителей зола, уносимая потоком газов, улавливается со средней эффективностью, которая определяется по данным проекта нормативов ПДВ.

Метод расчета по удельным показателям образования отходов предполагает использование отчетной информации предприятия с расчетом средних значений за определенный (базовый) период времени, за счет выделения экспертным путем нормообразующих факторов и определения их влияния на значения удельных показателей. Наряду с удельными значениями, соотношение количества золы и шлака определяется способом сжигания топлива и конструкцией топочного устройства в соответствии с рекомендациями [19], (табл. 4).

**Таблица 4.** Основные соотношения распределения золы и шлака в зависимости от топочного устройства

Топка	Выход шлака, % от общего количества ЗШО	Количество золы в газоходах, %	Количество золы уноса с дымовыми газами, %
Слоевая	80	5-10	10-15
Камерная с сухим шлакоудалением	15-25	10-15	60-75
Камерная с жидким шлакоудалением	40-55	5-10	35-55

Расчетно-аналитический метод определения количества золошлаковых отходов осуществляется на основе документации на производство продукции в соответствии с установленными нормами расхода сырья (материалов). Норматив образования отходов рассчитывается как разность между нормой расхода сырья (материалов) на единицу продукции и чистым (полезным) их расходом с учетом неизбежных безвозвратных потерь сырья [13].

В общем случае при расчете массы образующихся отходов производства и потребления и, в частности, золошлаков в качестве исходной величины принимается количество отходов, предусмотренное проектной документацией для конкретного предприятия.

Для генерирующих энергообъектов, использующих в качестве топлива мазут, проводится расчет нормативного количества образования сухих золосажевых отложений,

который складывается из нормативного количества золовых и сажевых отложений на поверхностях нагрева.

Расчет количества золошлаковых отходов, образующихся при сжигании твердого топлива на крупных ТЭС, представлен в работе [12], где показано, что важно учитывать количество котлов на станции, количество используемых устройств подачи золы, количество устройств подачи шлака, вид, качественные характеристики топлива и его расход, а также характеристики камерных топок как с сухим, так жидким удалением шлака. Как и во всех методах, здесь также определяется количество золы и шлака, но с учетом количества отхода, образующегося от каждого работающего котла и от каждого золоуловителя.

Обобщая существующие методы количественной оценки образования золошлаковых отходов объектами энергетики, следует отметить, что масса золошлаковых отходов определяется, как сумма шлака и уловленной в золоулавливающих установках золы на основе метода материально-сырьевого баланса (см. формулу (1)). При этом для укрупненных региональных оценок, когда на территории того или иного субъекта функционируют как крупные твердотопливные электростанции (ТЭС, ГРЭС), так и котельные разной мощности, расчет количества шлаков для этих энергообъектов можно проводить по формулам (2) и (3). Количество золы, уловленной в золоуловителях для крупных энергообъектов, целесообразно определять по формуле (3), а для котельных малой мощности (менее 1 Гкал/ч), в которых очистка уходящих газов отсутствует, выполнять только расчет шлаков.

Таким образом, применение различных методов позволяет как получить наиболее полную и комплексную оценку существующего состояния природной среды, так и определить влияние на элементы природной среды в результате перспективного развития объектов энергетики. Например, с использованием упомянутых методик расчета количества выбросов и образования золошлаковых отходов выполнена оценка воздействия топливно-энергетического комплекса Иркутской области на природную среду [16].

**3. Информационные технологии поддержки рассмотренных методов.** Для оценки и прогноза негативного воздействия энергетических объектов на окружающую среду необходимы разработка базы данных, включающей большое количество показателей, и инструментария, обеспечивающего использование проанализированных выше методов и моделей. При этом в составе инструментария должна быть такая система, которая позволит выполнять не только оценку воздействия в части количественной эмиссии загрязняющих веществ в элементы природной среды от энергообъектов, но и учитывать взаимозависимость развития производственной деятельности человека и реакции на нее природной среды, а также определять очередность и обоснованность природоохранных мероприятия. Таким инструментом может стать предложенная в [3] Web-ориентированная информационная система на основе интеграции методов математического моделирования, искусственного интеллекта (включающих когнитивное моделирование, как одно из направлений семантического моделирования [4], и онтологическое моделирование), визуальной аналитики и геоинформационных технологий.

Архитектура Web-ориентированной информационной системы состоит из четырех уровней [3]: 1) уровень математических методов и моделей, включающих расчет объемов эмиссии загрязняющих веществ в элементы природной среды с последующей оценкой их влияния на качество жизни населения в зависимости от заселенности исследуемой

территории и обеспеченности энергоресурсами; 2) уровень семантического моделирования, включающий когнитивные модели для описания взаимосвязи факторов, определяющих качество жизни; 3) уровень представления знаний – объединяет базу знаний, хранящую описания знаний для построения семантических моделей, и систему онтологий для описания знаний предметной области; 4) уровень представления данных – интегрирует базу данных и геоинформационную систему (ГИС), что может использоваться как для иллюстрации результатов расчетов, так и для наглядной интерпретации семантических моделей.

**Заключение.** В статье рассмотрены и проанализированы существующие методы оценки воздействия объектов энергетики на окружающую среду. В целом показано, что объекты энергетики на разных этапах производства: от добычи, генерации и до передачи (транспорта) конечной продукции потребителю оказывают негативное воздействие на все элементы природной среды. Однако наибольшее воздействие энергетических объектов на природную среду происходит через атмосферу, куда попадает значительный объем вредных веществ, способных вымываться из воздуха и осаждаться на водные поверхности и почвы.

Методы оценки негативного воздействия энергетики построены на основе системного анализа и включают в себя проведение экологических экспертиз, оценку воздействия на окружающую среду, оценку рисков и ущербов, определение индикаторов устойчивого развития, а также сочетание различных подходов - комбинированные методы. Первоосновой для оценки воздействия является определение той причины, которая оказывает негативное воздействие, а именно поступление в элементы природной среды нехарактерных для них примесей – загрязняющих веществ. Для объектов генерации энергии в качестве основных методов определения количества вредных веществ предлагается использовать официально утвержденные методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу электростанциями и котельными установками разной мощности.

Рассмотрены различные методы расчета количества образования золошлаковых отходов от объектов генерации энергии: по материально-сырьевому балансу, по удельным показателям образования отходов и по установленным нормам расхода топлива.

В статье показано, что для проведения расчетов требуется широкий перечень показателей, которые можно сгруппировать по характеристикам топлива, энергетического и очистного оборудования. Для поддержки и использования проанализированных методов требуется разработка информационно-аналитической системы, как инструментария для оценки воздействия энергообъектов на окружающую среду.

**Благодарности.** Проект выполняется при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-57-81001 и частичной поддержке регионального проекта РФФИ и Правительства Иркутской области №17-48-380002 р\_а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов А.Ф. Уменьшение вредных выбросов при очистке паровых котлов. М. Энергоатомиздат. 1990. 240 с.
2. Корчагина Т.В., Степанов Ю.А., Бурмин Л.Н. Метод оценки экологических показателей воздействия на окружающую среду в районах размещения угольных предприятий // Уголь. 2018. август. С. 119–123. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-8-119-123>.

3. Массель Л.В. Проблема оценки влияния энергетики на геоэкологию региона: постановка и пути решения // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 2 (10). С. 5–21.
4. Массель Л.В., Массель А.Г. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // III международная научно-техническая конференция OSTIS-2013: труды. Беларусь. Минск. БГУИР. 2013. С. 247–250.
5. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. РД 34.02.305-98. М: ВТИ. 1998.
6. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. М.: Гос. комитет по охране окружающей среды Российской Федерации (при участии фирмы «Интеграл», Санкт-Петербург). 1999. 53 с.
7. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ в выбросе предприятий. ОНД-86. Л: Госкомгидромет. 1987.
8. Методические рекомендации по разработке проекта нормативов предельного размещения отходов для теплоэлектростанций, теплоэлектроцентралей, промышленных и отопительных котельных СПб. 1998. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200043975> (дата обращения 24.10.2018).
9. Методическое письмо НИИ Атмосфера №335/33-07 от 17 мая 2000 г. «О проведении расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу по «Методике определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час». (М., 1999). СПб.: НИИ Атмосфера. 2000. 20 с.
10. Методы и модели разработки региональных энергетических программ / Санеев Б.Г., Соколов А.Д., Агафонов Г.В. и др.; под ред. проф. Б.Г. Санеева. Новосибирск: Наука. 2003. 140 с.
11. Методы оценки воздействия на окружающую среду. [Электронный ресурс]. 2006. Режим доступа: URL: [https://studopedia.ru/7\\_10376\\_metodi-otsenki-vozdeystviya-na-okruzhayushchuyu-sredu.html](https://studopedia.ru/7_10376_metodi-otsenki-vozdeystviya-na-okruzhayushchuyu-sredu.html) (дата обращения 16.10.2018).
12. Назмеев Ю.Г. Системы золошлакоудаления ТЭС. М.: Изд-во МЭИ. 2002. 572 с.
13. Об утверждении отдельных методических документов в области охраны окружающей среды. Приказ министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан от 18 апреля 2008 г. №100-п. Режим доступа: <http://new.ecogofond.kz/wp-content/uploads/100-ves.pdf> (дата обращения 24.10.2018).
14. Овсейчук В.А., Крылов Д.А., Сидорова Г.П. естественные радионуклиды в углях и золе угольных электростанций // Уголь. 2012. №9. С. 96–97.
15. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. СПб. изд-во Петербург – XXI век. 1995. 144 с.
16. Санеев Б.Г., Майсюк Е.П. Оценка воздействия топливно-энергетического комплекса Иркутской области на природную среду // Известия БГУ. 2018. Т.28. №2. С. 249–256. Режим доступа: <http://izvestia.bgu.ru/reader/article.aspx?id=22058> (дата обращения 24.10.2018) DOI:10.17150/2500-2759.2018.28(2).249-256

17. Санеев Б.Г., Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Учет региональных особенностей в методах оценки воздействия энергетики на природную среду // Известия РАН. Энергетика. 2016. № 6. С. 79–85.
  18. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. Ленинград. Госкомгидромет. 1986. С. 1–27.
  19. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат. 1988. 528 с.
  20. Указания по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ (пыли, сернистого газа), содержащихся в выбросах промышленных предприятий (СН 369-74). М.: Гидрометеиздат. 1975.
  21. Федеральный закон «Об охране окружающей среды». ФЗ от 10. 01. 2002 г. № 7
  22. Харламова А.В. Негативное воздействие отвалов угольных шахт на окружающую среду и способы его нейтрализации // Тр. Междунар. научной конф. молодых ученых и специалистов «Экология энергетики – 2017». М.: Издательский дом МЭИ. 2017. С.88–91.
- 

**UDK 620.9:504 (51-7)**

**THE ANALYSIS OF MODERN METHODS FOR ASSESSING THE IMPACT  
OF ENERGY OBJECTS ON THE ENVIRONMENT**

**Elena P. Maysyuk**

PhD of economy, Senior researcher of the Laboratory of energy supply for distributed consumers  
e-mail: maysyuk@isem.irk.ru

**Irina Yu. Ivanova**

PhD of economy, Head of the Laboratory of energy supply for distributed consumers  
e-mail: nord@isem.irk.ru

Melentiev Energy Systems Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences  
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

**Abstract.** Methods for assessing the impact of energy objects on the elements of the environment are analyzed in the article. Methods for assessing the impact of energy generation objects are considered in more detail. Officially approved methods for calculating emissions of pollutants into the atmosphere by power plants and boilers are proposed to be used as the main methods.

Various methods for calculating the amount of ash and slag waste from power generation facilities are considered. And here a method of the material and raw balance proposed to be use.

The article shows that for the calculations require a wide list of indicators that can be grouped by the characteristics of power and cleaning equipment and a fuel.

The use of the analyzed methods requires the creation of an extensive database and the development of an information technology system as an analytical tool for assessing the impact of energy objects on the environment.

**Keywords:** The energy objects, the elements of the environment, methods and models, emissions of pollutants, slag waste, modeling, Web-oriented information system, database.

**Acknowledgment.** The project is being implemented with financial support from RFBR grant No. 18-57-81001, and partial support for the regional project of the RFBR and the Government of the Irkutsk Region No. 17-48-380002 p\_a.

### References

- 1 Gavrilov A.F. Umen'shenie vrednyh vybrosov pri ochistke parovyh kotlov [Reduction of harmful emissions under cleaning steam boilers]. Moscow. Energoatomizdat. 1990. 240 p. (in Russian).
- 2 Korchagina T.V., Stepanov YU.A., Burmin L.N. Metod ocenki ehkologicheskikh pokazatelej vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu v rajonah razmeshcheniya ugol'nyh predpriyatij [Method for estimate environmental indicators impact in areas of location coal enterprises] // Ugol' = Coal. 2018. August. Pp. 119–123 (in Russian)
- 3 Massel' L.V. Problema ocenki vliyaniya ehnergetiki na geoehkologiyu regiona: postanovka i puti resheniya [The problem of assessing the impact of energy to the region's geo-ecology: formulation and ways of solutions] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in a science and management. 2018 № 2 (10). Pp. 5–21 (in Russian)
- 4 Massel' L.V., Massel' A.G. Semanticheskie tekhnologii na osnove integracii ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytijnogo modelirovaniya [Semantic technologies based on the integration of the ontological, cognitive and event modeling] // III mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija OSTIS-2013: trudy. = III International Scientific Conference OSTIS-2013: Proceedings. Minsk. BGUIR = Belarus' State University of Informatics and Radiotechnics. 2013. Pp. 247–250 (in Russian)
- 5 Metodika opredeleniya valovyh vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferu ot kotel'nyh ustanovok TEHS. RD 34.02.305-98 [The method for determining gross emissions of pollutants into the atmosphere from boilers of thermal power plants. RD 34.02.305-98]. Moscow. VTI Publ. 1998. (in Russian)
- 6 Metodika opredeleniya vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferu pri szhiganii topliva v kotlah proizvoditel'nost'yu menee 30 tonn para v chas ili menee 20 Gkal v chas [The method of determining emissions of pollutants into the atmosphere under burning fossil fuel in boilers with a capacity of less than 30 tons of steam per hour or less than 20 bln cal per hour]. Moscow. State Committee on Environmental Protection of the Russian Federation (with the participation of Ltd Integral, St. Petersburg) Publ. 1999. 53 p. (in Russian)
- 7 Metodika rascheta koncentracij v atmosferenom vozduhe vrednyh veshchestv v vybrose predpriyatij. OND-86 [The method of calculating concentrations in the air of harmful substances in the emissions of enterprises. OND-86]. Leningrad. Goscomhydromet Publ. 1987. (in Russian)
- 8 Metodicheskie rekomendacii po razrabotke proekta normativov predel'nogo razmeshcheniya othodov dlya teploehlektrostantsij, teploehlektrocentralej, promyshlennyh i otopitel'nyh kotel'nyh [Guidelines for the development of draft standards for the maximum disposal of

- waste for thermal power plants, combined heat and power plants, industrial and heating boilers]. St. Petersburg. 1998. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200043975>. (in Russian)
- 9 Metodicheskoe pis'mo NII Atmosfera №335/33-07 ot 17 maya 2000 g. «O provedenii raschetov vybrosov vrednyh veshchestv v atmosferu po «Metodike opredeleniya vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferu pri szhiganii topliva v kotlah proizvoditel'nost'yu menee 30 tonn para v chas ili menee 20 Gkal v chas». (M., 1999). [Methodical letter of the Atmosphere Research Institute №335 / 33-07 dated 17.05.2000 "On the calculation of emissions of harmful substances into the atmosphere according to the 'Technique for determining emissions of pollutants into the atmosphere when fuel is burned in boilers with a capacity of less than 30 tons of steam per hour or less 20 Gcal per hour' (Moscow, 1999)"]. St. Petersburg. Research Institute Atmosphere Publ. 2000. 20 p. (in Russian)
  - 10 Metody i modeli razrabotki regional'nyh ehnergeticheskikh programm / Saneev B.G., Sokolov A.D., Agafonov G.V. i dr.; pod red. prof. B.G. Saneeva. [Methods and models for the development of regional energy programs / Saneev B.G., Sokolov A.D., Agafonov G.V. and etc.; by ed. prof. B.G. Saneeva]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2003. 140 p. (in Russian).
  - 11 Metody ocenki vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu [Methods of environmental impact assessment]. 2006. URL: [https://studopedia.ru/7\\_10376\\_metodi-otsenki-vozdeystviya-na-okruzhayushchuyu-sredu.html](https://studopedia.ru/7_10376_metodi-otsenki-vozdeystviya-na-okruzhayushchuyu-sredu.html) (in Russian)
  - 12 Nazmeev YU.G. Sistemy zoloshlakoudaleniya TEHS [Ash-and-slag removal systems of thermal power plants]. Moscow. Moscow Energy Institute Publ. 2002. 572 p. (in Russian)
  - 13 Ob utverzhdenii otdel'nykh metodicheskikh dokumentov v oblasti ohrany okruzhayushchej sredy. Prikaz ministerstva ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Kazahstan ot 18 aprelya 2008 g. №100-p. [On approval of separate methodological documents in the field of environmental protection. Order of the Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan of April 18, 2008 No. 100-p.]. 2008. URL: <http://new.ecogosfond.kz/wp-content/uploads/100-ves.pdf>. (in Russian)
  - 14 Ovsejchuk V.A., Krylov D.A., Sidorova G.P. estestvennye radionuklidy v uglyah i zole ugol'nyh ehlektrostantsij [Natural radionuclides in coal and ash from coal-fired power plants]. // Ugol' = Coal. 2012. N9. Pp. 96–97. (in Russian)
  - 15 Perechen' i kody veshchestv, zagryaznyayushchih atmosferyj vozduh [List and codes of air pollutants]. St. Petersburg. Petersburg - XXI century Publ. 1995. 144p. (in Russian)
  - 16 Saneev B.G., Maysyuk E.P. Ocenka vozdeystviya toplivno-ehnergeticheskogo kompleksa Irkutskoj oblasti na prirodnyuyu sredu [Assessment of the impact of the fuel and energy complex of the Irkutsk region on the environment] // Izvestiya BGU = Bulletin of Baikal State University. 2018. Vol. 28. №2. Pp. 249–256. <http://izvestia.bgu.ru/reader/article.asp?id=22058> (DOI: 10.17150 / 2500-2759.2018.28 (2) .249-256) (in Russian)
  - 17 Saneev B.G., Maysyuk E.P., Ivanova I.Yu. Uchet regional'nyh osobennostej v metodah ocenki vozdeystviya ehnergetiki na prirodnyuyu sredu [Consideration of regional peculiarities in the methods of assessing the impact of energy on the environment // Izvestiya RAN = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2016. № 6. Pp. 79–85. (in Russian)
  - 18 Sbornik metodik po raschetu vybrosov v atmosferu zagryaznyayushchih veshchestv razlichnymi proizvodstvami [Collection of methods for calculating emissions into the

- atmosphere of pollutants by various industries]. Leningrad. Goskomgidromet Publ. 1986. Pp. 1–27. (in Russian)
- 19 Sidelkovsky L.N., Yurenev V.N. Kotel'nye ustanovki promyshlennyh predpriyatij [Boiler installations of industrial enterprises]. Moscow. Energoatomizdat Publ. 3rd ed. 1988. 528 p. (in Russian)
- 20 Ukazaniya po raschetu rasseivaniya v atmosfere vrednyh veshchestv (pyli, sernistogo gaza), soderzhashchihsya v vybrosah promyshlennyh predpriyatij (SN 369-74) [Instructions for calculating the dispersion in the atmosphere of harmful substances (dust, sulfur dioxide) contained in industrial emissions (CH 369-74)]. Moscow. Gidrometeoizdat Publ. 1975. (in Russian)
- 21 Federal'nyj zakon «Ob ohrane okruzhayushchej sredy» [Federal Law "On Environmental Protection"]. Federal Law № 7, on 10.01.2002. (in Russian)
- 22 Kharlamova A.V. Negativnoe vozdejstvie otvalov ugol'nyh shaht na okruzhayushchuyu sredu i sposoby ego nejtralizacii [Negative impact of dumps of coal mines on the environment and methods for its neutralization]. // Tr. Mezhdunar. nauchnoj konf. molodyh uchenyh i specialistov «Ekologiya ehnergetiki – 2017» = International scientific conference Young scientists and specialists “Ecology of Energy - 2017”: Proceedings. Moscow. Publishing House MEI = Izdatel'skij dom Moskovskij ehnergeticheskij institut. 2017. Pp. 88–91 (in Russian)