

# ЭКОНОМИКА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 628.52: 621.311.22: 502.3

ББК 65.305.142

© Лобовиков А.О., Базылева Я.В.

## Эколого-экономическая оценка эффективности технологии очистки выбросов тепловых электростанций

*В статье обоснована актуальность применения наилучших доступных технологий очистки выбросов тепловых электростанций. Подробно рассмотрены доступные технологии очистки выбросов от диоксида серы тепловыми электростанциями. Предложена методика эколого-экономической оценки эффективности использования наилучшей доступной технологии на примере очистки выбросов от диоксида серы тепловыми электростанциями.*

*Эколого-экономическая оценка эффективности технологии очистки выбросов тепловых электростанций, наилучшие доступные технологии.*



**Алексей Олегович  
ЛОБОВИКОВ**

кандидат экономических наук, доцент Пермского  
национального исследовательского политехнического университета  
lobovik@yandex.ru



**Яна Вадимовна  
БАЗЫЛЕВА**

магистрант Пермского национального исследовательского  
политехнического университета  
yanochka\_92@list.ru

Одними из самых значительных источников загрязнения атмосферы в России и в зарубежных странах являются тепловые электростанции (ТЭС) и теплоэлектроцен-

трали (ТЭЦ), потому что, кроме главных продуктов сгорания, углерода и водорода, не являющихся токсичными, в атмосферу выбрасываются диоксиды серы (SO<sub>2</sub>).

Современные ТЭС и ТЭЦ мощностью 2,4 млн. кВт выбрасывают в атмосферу около 50 тонн  $\text{SO}_2$  в сутки. Учёными подсчитано, что ТЭС и ТЭЦ выделяют 46% всего сернистого ангидрида и 25% угольной пыли, выбрасываемой в атмосферу промышленными предприятиями [1].

Диоксид серы – бесцветный негорючий газ, обладающий раздражающим токсическим эффектом. Выбросы  $\text{SO}_2$  наносят большой ущерб животному и растительному миру. Этот газ разрушает хлорофилл, имеющийся в растениях, повреждает листья и хвою. Для человека и животных он также является токсичным. Сернистый ангидрид, попадая в организм человека и животных, соединяется с гемоглобином крови, в результате чего в организме возникает недостаток кислорода и, как следствие, происходят различные нарушения нервной системы. Кроме того,  $\text{SO}_2$  может вызывать фатальные аллергические реакции у больных астмой.

Диоксид серы очень хорошо разносится на расстояние и, естественно, наблюдается пропорциональное уменьшение его концентрации при удалении от очага загрязнений. Добавим, что, попав в атмосферу, он трансформируется в серный ангидрид, который также является загрязняющим и токсичным газом.

Таким образом, снижение содержания сернистого ангидрида в дымовых выбросах ТЭЦ и ТЭС является одной из актуальных задач внедрения наилучших доступных технологий производства тепла и электроэнергии.

Под наилучшей доступной технологией понимается совокупность применяемых для производства товаров (продукции), выполняемых работ, оказанных услуг на объектах, воздействующих на окружающую среду, технологических процессов, оборудования, методов, способов, приемов и средств, основанных на современных достижениях науки и техники, обладаю-

щих наилучшим сочетанием показателей достижения целей охраны окружающей среды и экономической целесообразности, при условии технической возможности их применения.

В настоящее время используются следующие доступные технологии снижения выбросов окислов серы энергетическими установками, сжигающими серосодержащее топливо:

- 1) предварительное (перед сжиганием) снижение концентрации серы в исходном топливе;
- 2) очистка дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу, от окислов серы с помощью специальных установок;
- 3) использование вторичного топлива из отходов в качестве альтернативного топлива.

Метод десульфуризации (обессеривание исходного топлива) – перспективное направление снижения объёма выбросов предприятий теплоэнергетики. При использовании данной технологии наиболее полно решается задача устранения отрицательных последствий, связанных с образованием и прохождением по тракту котла окислов серы. В то же время не требуется утилизировать продукты десульфуризации, что повышает эффективность сжигания такого топлива. Однако этот процесс является сложным в техническом плане, а внедрение данной технологии требует больших затрат [2].

Наибольшее распространение получил второй метод – очистка выбросов от серы при помощи сероулавливающих установок.

В настоящее время известно более восьмидесяти модификаций способов удаления  $\text{SO}_2$  из дымовых газов. Все эти способы организации технологического процесса удаления сернистого ангидрида из дымовых газов в зависимости от того, в какой фазе происходит процесс связывания сернистого ангидрида, можно разделить на сухие и мокрые.

В силу большей экономической и экологической эффективности предпочтение отдается мокрым методам очистки. При их использовании применяются дешевые расходные материалы (известь, известняк, вода). В результате появляется возможность получать товарный продукт (гипс). Кроме того, использование этих методов позволяет существенно снизить эмиссию оксидов серы, а также затраты на внедрение данной доступной технологии.

Но, наряду с этим, существующие доступные технологии имеют ряд недостатков. К ним относятся: наличие сточных вод, требующих очистки, громоздкость оборудования и необходимость создания систем жидкостного орошения, факт образования отходов, высокая энергоемкость технологических процессов [1].

Третий вариант снижения эмиссии диоксида серы – использование в качестве альтернативного топлива вторичного топлива из отходов. Топливо из отходов – refuse derived fuels (RDF) – продукт переработки отходов в систему, из которой негорючие материалы удаляются, а оставшиеся горючие материалы используются в качестве топлива для создания энергии. В США и Великобритании с 1970-х годов проводятся работы по переработке отходов в гранулированное топливо «Refuse Full» (RDF). Его длительное время можно хранить и транспортировать на относительно большие расстояния и при его сжигании негативное воздействие на окружающую среду значительно меньше.

Преимуществом использования вторичного топлива из отходов с точки зрения качественных характеристик является высокая теплотворная способность, низкое содержание золы и углерода. Кроме того, при этом уменьшается количество не утилизируемых отходов и снижается объем их размещения в окружающей среде.

К недостаткам применения вторичного топлива из отходов можно отнести неудобства, возникающие из-за гетерогенности их состава, трудностей соблюдения существующих в различных странах требований, касающихся сжигания отходов, в связи с необходимостью более полного мониторинга процесса сжигания, а также проведения переоборудования. Технология получения вторичного топлива из отходов является малоизученной и дорогостоящей для внедрения ее в городах России [2].

Для анализа, выполняемого с целью проведения эколого-экономической оценки эффективности технологии очистки выбросов тепловых электростанций, нами был использован метод экспертных оценок.

Из всех доступных технологий сероочистки можно выделить три наиболее распространенных и оценить их по трем группам показателей – экологических, экономических и социальных. При этом в каждой группе можно выделить несколько самых значимых факторов [3].

Результаты выбора наиболее эффективной (наилучшей) доступной технологии на основе метода экспертной оценки представлены в *таблице 1*.

Рассматриваемые нами доступные технологии обозначены следующим образом:

- технология 1 – предварительная десульфуризация;
- технология 2 – абсорбция  $SO_2$  с помощью щелочноземельных соединений (снижение  $SO_2$  в 60 раз);
- технология 3 – переход на использование топлива из отходов – refuse derived fuels (RDF).

Экспертная оценка проводилась по 5-балльной шкале. Оценка 1 балл выставлялась в том случае, если воздействие на окружающую среду максимально, затраты

Таблица 1. Выбор наилучшей доступной технологии снижения выбросов оксида серы

Критерий	Технология 1	Технология 2	Технология 3
<i>1. Экологические показатели (0,25)</i>			
1.1. Воздействие на атмосферный воздух	3	4	3
1.2. Воздействие на водные объекты	4	2	5
1.3. Воздействие на почву	3	3	4
1.4. Ресурсосбережение	4	3	5
1.5. Использование отходов в качестве продуктов	0	5	5
Сумма	3,5	3,5	5,5
<i>2. Экономические показатели (0,5)</i>			
2.1. Капитальные затраты	1	3	2
2.2. Эксплуатационные затраты	2	3	1
2.3. Спрос на вторичный продукт	0	5	3
Сумма	1,5	5,5	3
<i>3. Технологические и социальные показатели (0,25)</i>			
3.1. Безопасность персонала	4	3	5
3.2. Сложность технологического процесса	3	4	2
Сумма	1,75	1,75	1,75
Итого	6,75	10,75	10,25

наиболее высоки; оценка 5 отражает минимальное воздействие на окружающую среду, минимальные затраты. Остальные оценки (2, 3, 4 балла) – промежуточные. Для объективной оценки по группам показателей были введены следующие коэффициенты: для экологических и технологических показателей – 0,25, а для экономических – 0,5, так как данный критерий является в настоящее время основополагающим.

При экологической экспертной оценке рассматриваемых доступных технологий учитывалась возможная в результате их внедрения эмиссия (выбросы) загрязняющих веществ в атмосферный воздух (п. 1 табл. 1).

Технологии десульфуризации и использования в качестве топлива RDF будут иметь негативное влияние на атмосферный воздух (оценка 3 балла), а технология щелочноземельной абсорбции исключает его практически полностью (оценка 4 балла).

Однако эта технология, относящаяся к мокрым методам очистки, предполагает наличие больших объемов сточных вод (оценка 2 балла).

Воздействие на почву каждого из методов нельзя охарактеризовать как критическое (оценки 3, 4 балла). Однако при использовании щелочноземельной абсорбции возникает необходимость удалять отложение, которое образуется на стенках аппарата и подлежит захоронению.

С точки зрения ресурсосбережения наиболее выигрышными являются технологии десульфуризации и перехода на RDF в качестве топлива, так как ресурсов затрачивается минимум (оценки 5 и 4 балла). Для обеспечения технологии абсорбции необходимы известняк и большие объемы воды (оценка 3 балла).

Отход приобретает статус продукта при использовании технологии абсорбции (гипс, применяемый в строительстве), а применение RDF подразумевает использование отходов в качестве топлива.

При экспертной оценке экономической эффективности существующей доступной технологии (п. 2 табл. 1) было установлено, что технология снижения концентрации серы в топливе (десульфуризация) является самой экономически

невыгодной, так как очень высоки капитальные и эксплуатационные затраты на оборудование и обеспечение его дальнейшего функционирования (оценки 1, 2 балла). Подготовка отходов для возможности их использования в качестве топлива также предполагает большие затраты, прежде всего капитальные.

Экспертная оценка существующей доступной технологии по техническим параметрам (п. 3 табл. 1) показала, что наиболее безопасной для персонала является технология использования RDF (оценка 5 баллов), однако она мало изучена и не нашла широкого применения, что говорит о возможных сложностях ее обеспечения в технологическом плане (оценка 2 балла). Наличие сточных вод, необходимость постоянного подогрева газов и удаления отложений на стенках аппарата делают процесс абсорбции небезопасным (оценка 3 балла), но это компенсируется непрерывностью и относительной простотой технологического процесса (оценка 4 балла).

Таким образом, используя метод экспертных оценок, можно выявить самые эффективные технологии и выбрать из них наиболее доступную, которая удовлетворяла бы критериям как экономической, так и коммерческой эффективности инновационного проекта.

Судя по экспертным оценкам, технология предварительной десульфуризации топлива по сумме баллов оказалась самой неэффективной. Это объясняется тем, что ее реализация требует значительных единовременных затрат на оборудование, не всегда соответствующих имеющимся финансовым возможностям.

Новейшая технология RDF является перспективной, но дорогостоящей и в нашей стране пока практически нигде не реализуется из-за недоступности и нехватки сведений и разработок в этом направлении.

В результате использования метода экспертных оценок нами было установлено, что наилучшей доступной технологией с точки зрения эколого-экономической эффективности является технология абсорбции  $SO_2$  щелочноземельными соединениями.

Кроме существенного экологического эффекта, применение наилучшей доступной технологии позволяет сторонним организациям получить дополнительный экономический эффект от реализации гипса, использованного в технологическом процессе.

Для количественной оценки коммерческой эффективности инновационного экологического проекта по внедрению наилучшей из существующих доступной технологии абсорбции  $SO_2$  щелочноземельными соединениями нами были использованы «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов», утвержденные Постановлением Госстроя РФ от 21 июня 1999 г. № ВК 477 [4].

В этих целях был выполнен расчет единовременных капитальных вложений (табл. 2) и эксплуатационных затрат (табл. 3) на примере одного из предприятий теплоэнергетики Пермского края [5]. Производительность установки абсорбции равна  $1200 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Выполненный расчет текущих эксплуатационных затрат отражает непрерывность технологического процесса, его высокую энергоемкость и низкую стоимость сырья (табл. 3) [5].

Ежегодно предприятие получает от внедрения данной технологии дополнительный экономический эффект за счет снижения экологического ущерба. В качестве годовой прибыли используется величина предотвращенного экологического ущерба, рассчитанного в соответствии с

Таблица 2. Расчет капитальных вложений

Основные средства	Кол-во, ед.	Стоимость ед., руб.	Итого стоимость, руб.
Стоимость оборудования для абсорбции, руб.	5	900 000	4 500 000
Стоимость оборудования для производства суспензии, руб.	3	80 000	240 000
Стоимость оборудования по очистке сточных вод, руб.	2	100 000	200 000
Стоимость очистки абсорбера от отложений, руб.	1	20 000	20 000
Итого		4 780 000	

Таблица 3. Расчет эксплуатационных затрат

Расходы	Затраты, руб./год
На воду	87 600
На электроэнергию	1 200 850
На закупку извести	391 210
На закупку топлива	735 000
Вывоз отходов	585 000
Фонд оплаты труда, в том числе отчисления в ФОМС и ПФР	1 220 000
Итого	3 361 910

Таблица 4. Результаты расчетов экономического эффекта

Показатель	Ед. изм.	Значение
ЧДД (NPV)	Руб.	1745
$T_{ок}$	Лет	4,6
ВНД (IRR)	%	6,3
ИД (PI)	Ед.	1,37

«Временной методикой определения экологического ущерба» [6]:

$$Y_{\text{прг}} = Y_{\text{удг}} \cdot (M_1 - M_2) \cdot K_э \cdot J_d =$$

$$= 52,2 \cdot 51560 \cdot 1,7 \cdot 1,06 = 4850 \text{ тыс. руб.}$$

В результате расчетов, выполненных нами в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов» [4], были определены основные показатели оценки экономической эффективности рассматриваемой нами наилучшей доступной технологии (табл. 4).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что, поскольку чистый дисконтированный доход – ЧДД (NPV) = 1745 > 0, а индекс доходности – ИД (PI) = 1,37 > 1, проект следует принять к рассмотрению.

Срок окупаемости рассматриваемого инновационного экологического проекта ( $T_{ок}$ ) составляет 4,6 года, а индекс доходности – ИД (PI) = 1,37, то есть данный проект является достаточно привлекательным для потенциальных инвесторов и кредиторов.

Кроме того, с точки зрения социально-экономической эффективности данный проект актуален и имеет практическую значимость для обеспечения экологической безопасности страны.

Для скорейшего внедрения наилучших доступных технологий в инновационные экологические проекты целесообразно, на наш взгляд, привлечение собственных средств предприятий и целевых кредитов под льготный процент, отечественных и зарубежных банков, а также негосударственных и муниципальных экологических фондов.

### Литература

1. Буров, В.Д. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 466 с.
2. Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives. European Commission – Directorate General Environment. – Final Report. WRc Ref: CO 5087\_4. July 2003. – 219 p.
3. Лелеков, В.И. Комплексный анализ производственно-хозяйственной деятельности типовой тепловой электростанции: учебное пособие / В.И. Лелеков. – М.: Изд-во МГОУ, 2011. – 124 с.
4. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ, Пост. Госстроя РФ от 21 июня 1999 г. № ВК 477 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/483870/metodicheskie\\_rekomendatsii\\_po\\_otsenke\\_effektivnosti\\_investitsionnykh\\_proek.pdf](http://www.complexdoc.ru/ntdpdf/483870/metodicheskie_rekomendatsii_po_otsenke_effektivnosti_investitsionnykh_proek.pdf).
5. Сайт ОАО «Территориальная генерирующая компания – ТГК-9». – URL: <http://www.tgk9.ru/rus.html>
6. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба [Электронный ресурс] / Госкомэкологии РФ. – URL: <http://www.waste.ru/uploads/library/usherb.pdf>.