

ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭМИССИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ ДО 2010 ГОДА

Я.Рекис, Э.Ванзович

Латвийское агентство инвестиций и развития, Рижский технический университет

1. Введение

Латвия присоединилась к конвенции Европейской Экономической Комиссии «Об уменьшении загрязнения зарубежного воздуха» и ее протоколам, которые обязывают обеспечить в Латвии мониторинг загрязнения воздуха и требуют предотвращения загрязнения, уменьшения выбросов в воздух главных веществ засорения - диоксида серы (SO₂), оксида азота (NO_x), оксида угля, летучих органических соединений (ЛОС), тяжелых металлов.

В настоящее время в силе и в стадии проекта целая связка нормативных актов [1-5]. Принятие этих нормативных актов существенно изменит защитную систему качества воздуха в Латвии, потребуют от местных органов самоуправления ответственности за качество воздуха. Новое законодательство включает требования серьезных финансовых вложений для модернизации мониторинга как по качеству воздуха, так и по созданию новых технологий, способствующих меньшему загрязнению. Находящиеся в силе Правила Кабинета Министров [3] определяют максимально допустимые эмиссии, которые по уровню 2010 года в процессе технической адаптации будут одинаковыми с требуемыми Европейской комиссией: SO₂ - 101 кт, NO_x – 61 кт, NH₃ – 44 кт, ЛОС – 136 кт.

Целью настоящего исследования является рассмотрение ситуации в энергетическом секторе, принимая во внимание критерии, которые определены законодательными актами защиты воздуха [1-5] (содержание серы в топливе, максимально допустимая эмиссия в государстве и т.д.). В работе оценены эмиссии SO₂, NO_x (сумма оксида азота и диоксида азота) и ЛОС в энергетическом секторе. Для этого используется оптимизационная модель энергетики и среды MARKAL, моделирующая энергетическую систему Латвии. Модель используется для прогноза эмиссии и разработана в соответствии с Общей конвенцией ООН по изменению климата. Структура этой модели такова, что эмиссию можно рассчитывать не только по виду топлива, но также по сектору и виду технологии, что является существенным для расчетов ЛОС и NO_x.

2. Эмиссия и возможности ее уменьшения

Общая эмиссия SO₂, NO_x и ЛОС в Латвии в период с 1990 по 2000 годы непрерывно уменьшалась. Однако, в последние годы наблюдается ее увеличение (особенно ЛОС и NO_x). В общей совокупности эмиссии энергетического сектора NO_x и SO₂ составляют (98%-99%), а эмиссия ЛОС – 66%. В модели рассматривается только энергетический сектор, поэтому ограничения по NO_x и SO₂ используются равными 101 кт и 61 кт, а эмиссия ЛОС ограничивается величиной 66% от 136 кт, т.е. 89,8 кт.

Мероприятия по уменьшению эмиссии, которые оцениваются моделью, можно сгруппировать по следующим свойствам [6-9]:

- ■ Замещение топлива и улучшение качества топлива означают низкую эмиссию сжигающих устройств, которые могут одновременно использовать различные виды топлива. В качестве примера замены топлива можно назвать замену мазута на природный газ в котельных.
-
- ■ Замена технологии преобразования энергии, означающая замену на технологию с меньшей интенсивностью эмиссии. Например, замена угольных электростанций на газовые электростанции.

- ▪ Мероприятия повышения эффективности энергии включают все технические и экономические мероприятия, направленные на производство систем уменьшающих удельный расход энергии в энергетическом секторе.
- ▪ Уменьшение эмиссии в технологиях, которые разрабатываются, чтобы уменьшить загрязнение воздуха. Это определяется видом используемого топлива и может применяться везде. Например, смачивание известняка и методы инъекции сухого поглощения можно использовать для уменьшения эмиссии SO₂.

3. Исходные предпосылки расчетов

- ▪ В качестве оптимизационной модели используется MARKAL, которая за 9 шагов (длиной по 5 лет) одновременно оптимизирует всю энергетическую систему за период с 1994 по 2034 годы. Таким образом, можно проверить структурные изменения в энергетической системе по многим ограничениям. Целевой функцией модели MARKAL являются общие затраты энергосистемы, которые следует минимизировать.
- ▪ Базовым годом расчетной модели является 1994 год.
- ▪ Дисконтированная ставка 7%.
- ▪ Оптимизационная модель MARKAL оптимизирует энергетическую систему таким образом, чтобы обеспечить требуемой (целесообразной) энергией потребителей. Запрашиваемая энергия распределяется далее по различным подсекторам. Эта энергия является входным параметром модели и прогнозируется вне модели. Запросы по энергии непосредственно связаны с экономическим развитием. В этом исследовании в качестве основы прироста расхода энергии принят долговременный макроэкономический прогноз на период с 2000 по 2035 годы [10], в котором средний годовой прирост ВВП принят равным 5,6% за период с 1999 по 2014 годы. Вышеупомянутый прогноз является прогнозом базового сценария. В базовом сценарии общий прирост расхода целесообразной энергии за период с 1999 по 2014 годы равен 1,6%. Начиная с периода 1999 по 2004 годы возрастает потребность целесообразной энергии с эластичностью 0,25 – 0,34 % на один процент прироста ВВП, или 0,28% в период времени с 1999 по 2014 годы.

В соответствии с заданной потребностью в энергии MARKAL рассчитывает расход и обеспечение энергией с ежегодным приростом в 2%.

- ▪ Принимается, что ограничений по импорту топлива и объему инвестиций не существует. Каждый вид ресурса энергии будет в наличии в достаточном объеме, чтобы удовлетворить потребности на ближайшие 30 лет (по IEA) при неопределенности цены на получение и транспортировку. Первичная цена энергии является очень важным фактором расхода энергии и осуществления снабжения. Модель MARKAL не рассчитывает цену носителя первичной энергии и ее развитие, поэтому цена является входным параметром модели. Траектория цены принимается гладкой, что не означает, что она интерпретируется как стабильная цена прогноза. Скорее всего, на долговременной траектории цена будет неустойчивой. Прогнозируется, что цена топлива в период с 2004 по 2034 годы возрастет. Цены на импортируемые ресурсы энергии (нефтепродукты, природный газ и уголь составлены с использованием прогноза IEA WEO 2002 [11]). Цены на местное топливо зависят от географического места использования, а поэтому могут отличаться большой амплитудой. Прогноз средней цены составляют многие исследования. Цена электроэнергии и централизованного тепла рассчитываются в модели. Получаются предельные затраты производства электроэнергии и централизованного тепла.
- ▪ Существенное влияние на результаты расчетов оказывает неопределенность информации. Главными источниками неопределенности являются изменение

правительственной политики и развитие технологий в мире вместе с макроэкономическими условиями. Эти факторы оказывают влияние как на целесообразную энергию, так и на объемы инвестиций в снабжение энергией. Разумеется, неопределенность увеличивается с увеличением величины периода прогнозирования. Другим фактором неопределенности является экономическая активность, которая является главным показателем расхода энергии. Если ВВП возрастает быстрее, чем принято, то потребность в энергии сильно увеличивается. При этом также нет ясности в потребности энергии связанной с повышением технологий. Неопределенность информации можно уменьшить образуя многочисленные расчеты в зависимости от различных параметров. Например, учитывая скорость прироста разных ВВП и разделяя их варианты по общим признакам.

4. Результаты

4.1. Анализируемые сценарии

В базовом сценарии (БС) объемы эмиссии не превышают допустимый уровень. При более стремительных темпах развития прироста электроэнергии и расхода полезной энергии составляют соответственно 4% и 2,4% в год. Уровень NOx в этом случае в 2014 году превысит становленный уровень 61 кт/год. Это произойдет главным образом благодаря росту транспорта.

Далее рассмотрим различные сценарии ограничения отдельных эмиссий в сравнении с БС. Главные параметры сценариев и уменьшение эмиссии даны в табл. 4.1.

4.2. Анализ эмиссии SO2

В сценарии БС_SF, в котором принимается во внимание ограничение по содержанию серы, топливо с высоким содержанием серы заменяется топливом с пониженным содержанием серы (мазут, дизельное топливо). В модели принято, что топливо с пониженным содержанием серы на 12% дороже [12]. В сценарии БС_SF эмиссия SO2 в период времени с 1999 по 2019 годы уменьшилась на 259,2 кт. В среднем расходы составляют 1194 US\$ (1994) за тонну уменьшения SO2.

Сравниваем сценарий БС_SE, отличающийся от сценария БС_SF тем, что в нем задано ограничение эмиссии SO2, но параллельно с малосернистым топливом можно использовать другие возможности уменьшения SO2. Ограничение SO2 в сценарии БС_SE одинаково с величиной эмиссии SO2 в сценарии БС_SF. Выбор такой стратегии уменьшает эмиссию SO2 и в среднем уменьшает расходы до 268 US\$(1994) за тонну уменьшения SO2.

Вместе с тем в сценарии БС_S дается ограничение по эмиссии SO2, которое на 1% меньше, чем уровень эмиссии SO2 в сценарии БС. Таким образом мы получаем предельные расходы уменьшения тонны SO2.

Таблица 4.1

Характеристика сценариев

Сценарий	Характеристика	Ограничение эмиссии	Уменьшение эмиссии в сравнении с БС в период 1999-2019 годы, кт			
			SO2	NOx	ЛОС	CO2
БС	БС с ежегодным приростом полезной энергии на 1.6% в период с 1999 по 2019 годы	Нет				
БС_SF	БС, в котором использовано топливо с низким содержанием серы	Нет	259.2	11.1	-23.2	3994.9
БС_SE	БС, в котором ограничение эмиссии SO2 по величине	SO2	259.2	22.6	20.6	9098.8

	одинаково с уровнем эмиссии SO2 в сценарии BC_SF						
BC_S	BC, в котором величина ограничения эмиссии SO2 составляет 99% от уровня BC	SO2	6.4	0.7	0.2	162.0	
BC_NV	BC, в котором величины ограничения эмиссии NOx и ЛОС являются максимально допустимыми в государстве	NOx и ЛОС	11.8	58.6	0.8	873.0	
BC_NVT	BC_NV сценарий, в котором дополнительно ограничена эмиссия NOx в секторе транспорта на уровне 60% от максимально допустимого уровня эмиссии в государстве	NOx и ЛОС, Nox в секторе транспорта	-5.4	63.4	1.3	227.8	
BC_NVM	BC, в котором величина ограничения эмиссии NOx и ЛОС составляет 99% от уровня эмиссии NOx и ЛОС в BC	NOx и ЛОС	56.8	10.1	12.8	2290.8	

Уменьшение эмиссии SO2 и затрат по отдельным годам и периодам времени видно с табл. 4.2.

Таблица 4.2

Уменьшение SO2

Сценарий	Единица	1999	2004	2009	2014	2019	1999-2019	1999-2034
Эмиссия SO2								
BC	кт	30.4	31.8	34.9	29.1	31.7	789.0	1539.7
BC_SF, BC_SE	кт	30.4	16.0	21.0	17.6	20.9	529.8	1124.9
Уменьшение эмиссии SO2 в сравнении с BC								
BC_SF, BC_SE	кт	-	15.8	13.9	11.5	10.7	259.2	414.8
Среднее уменьшение расходов на снижение эмиссии SO2								
BC_SF	1994 US\$/т	-	925	1213	1607	1127	1194	1506
BC_SE	1994 US\$/т	-	500	484	-105	47	268	83
Предельные расходы уменьшения эмиссии SO2								
BC_SE	1994 US\$/т	-	557	374	643	699	-	-
BC_S	1994 US\$/т	-	169	231	30	8	-	-

Изменение эмиссии SO2, изменяет структуру энергии системы и вместе с тем оказывает влияние на множества других эмиссий. В конкретном случае эмиссии CO2 и NOx уменьшаются.

4.3. Эмиссия NOx и ЛОС

В исследовании рассчитывается прогноз эмиссии NOx и ЛОС с использованием одинаковых сценариев эмиссии обоих видов. Как уже упоминалось, уровень эмиссии NOx сценария с высокими темпами прироста энергии превышает допустимый уровень эмиссии. В рассмотренном сценарии допустимые уровни эмиссии NOx превышают допустимые в период с 2019 по 2024 годы.

В сценарии BC_NV эмиссии ограничены допустимыми уровнями. В результате модель, оптимизируя систему, принимает во внимание эти ограничения и ищет возможности уменьшения эмиссии NOx (замена топлива, технологии, улучшение эффективности и т. д.). В сценарии BC_NV эмиссия NOx в период времени с 1999 по 2019 годы уменьшается на 58.6 кт, что в среднем приводит к расходам 5166 US\$ (1994) за тонну NOx.

В сценарии BC_NVT дополнительно к общим ограничениям эмиссии NOx накладываются ограничения по ограничению эмиссии в секторе транспорта. Ограничение равно 36.6 кт, что составляет 60% от общего уровня допустимой эмиссии NOx. Это ограничение эмиссии NOx в секторе транспорта достигается в 2019 году. В модели сектора транспорта предусмотрена специальная технология уменьшения эмиссии NOx и ЛОС. Т.е. различные каталитические конверторы, улучшение процесса горения и контроля. В сценарии BC_NVT уменьшение эмиссии NOx в среднем стоит 5083 US\$ (1994) за тонну NOx. Это меньше по сравнению с предыдущими периодами времени. Однако, сравнение расходов с более длинным периодом времени с 1999 по 2034 годы показывает, что в среднем расходы эмиссии NOx являются большими в сценарии BC_NVT по сравнению со сценарием BC_NV.

Уменьшение эмиссии NOx и затрат по отдельным годам и периодам времени видно из табл. 4.3.

Таблица 4.3

Уменьшение NOx

Сценарий	Единица	1999	2004	2009	2014	2019	2024	1999-2019	1999-2034
Эмиссия NOx									
BC	кт	39.0	42.6	48.2	53.1	59.4	66.2	1211.2	2316.7
В т. ч. транспорт	кт	23.0	26.0	29.5	33.4	37.8	41.3	748.5	1418.5
BC_NV	кт	39.0	39.5	43.9	51.0	57.1	61.0	1152.6	2067.6
В т. ч. транспорт	кт	23.0	26.0	29.5	33.4	37.8	40.3	748.5	1332.0
BC_NVT	кт	39.0	39.5	43.9	51.1	56.0	58.8	1147.9	2052.0
В т. ч. транспорт	кт	23.0	26.0	29.5	33.4	36.6	36.6	742.4	1287.2
Уменьшение эмиссии NOx по сравнению с BC									
BC_NV	кт	-	3.1	4.3	2.1	2.3	5.2	58.6	249.2
В т. ч. транспорт	кт	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	86.5
BC_NVT	кт	-	3.1	4.2	1.9	3.4	7.3	63.4	264.8
В т. ч. транспорт	кт	-	0.0	0.0	0.0	1.2	4.7	6.1	131.3
Предельные расходы уменьшения эмиссии NOx									
BC_NV	1994 US\$/т	-	0	0	0	0	2352	-	-
BC_NVT	1994 US\$/т	-	0	0	0	2352	2352	-	-
BC_NVM	1994 US\$/т	-	1354	2119	2429	322	279	-	-

В сценарии BC_NVM заданы ограничения эмиссии по NOx и ЛОС, которые на 1% ниже, чем уровень соответствующей эмиссии в сценарии BC. Таким образом мы получаем предельные расходы.

В вышеуказанных сценариях соответствующие эмиссии ЛОС показаны в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Уменьшение ЛОС

Сценарий	Единицы	1999	2004	2009	2014	2019	2024	1999-2019	1999-2034
Эмиссия ЛОС									
BC	кт	41.7	39.9	44.8	50.0	56.1	61.0	1162.5	2146.3
В т. ч. транспорт	кт	24.1	24.2	27.4	31.1	35.1	38.2	709.4	1328.6
BC_NV	кт	41.7	39.9	44.6	49.9	56.2	60.3	1161.7	2114.8
В т. ч. транспорт	кт	24.1	24.2	27.4	31.1	35.1	39.0	709.4	1324.3
BC_NVT	кт	41.7	39.9	44.8	50.0	55.8	60.5	1161.1	2108.9

В т. ч. транспорт	кТ	24.1	24.2	27.4	31.1	34.8	38.2	707.7	1304.0
Уменьшение эмиссии ЛОС по сравнению с БС									
БС_NV	кТ	-	0.0	0.1	0.1	0.0	0.6	0.8	31.6
В т. ч. транспорт	кТ	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.0	4.3
БС_NVT	кТ	-	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	1.4	37.4
В т. ч. транспорт	кТ	-	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.7	24.6
Предельные расходы уменьшения эмиссии ЛОС									
БС_NVM	1994 US\$/Т	-	996	0	0	398	344	-	-

5. Выводы и предложения

1. В исследовании проанализированы многие сценарии с различными ограничениями эмиссии и с учетом различных мероприятий ее уменьшения. К последним относятся использование малосернистого топлива, замещение топлива, внедрение технологий уменьшающих эмиссию и т.д. Эти сценарии сравнены с базовым сценарием, что дает возможность оценить стоимость уменьшения эмиссии.
2. Для возможности включения в модель эмиссии NOx и ЛОС по отдельным секторам энергетики структура модели MARKAL дополнена и изменена.
3. В базовом сценарии работы рассмотренные уровни эмиссии не превышают допустимые уровни. Уровень NOx при увеличении темпов прироста расхода энергии может превысить допустимое значение 61 кТ/год. Это происходит главным образом благодаря росту транспорта.
4. Анализируя сектор транспорта (и другие сектора) надо обобщить точность информации об эмиссиях "новых" топлив (метаноловых, этаноловых, биодизельных и т.д.) по различным технологиям. Важно также уточнить структуру моделей автопарка автомобилей по годам выпуска, а также отдельным распределениям (легковые, грузовые, автобусы и мотоциклы).
5. На этом этапе исследования не выделяются устройства сжигания топлива, для которых номинальная входная мощность по теплу равна 50 MW или больше. Это должно быть учтено отдельно, так как [1] ограничивает их эмиссию по SO2 и NOx.

6. Литература

1. Кабинет министров Латвии. Правила Nr.379 (20.08.2002 с поправками 22.04.2003, 2.03.2004).
2. Кабинет министров Латвии. Правила Nr. 332 (26.09.2000 с поправками 30.07.2002, 18.03.2003).
3. Кабинет министров Латвии. Правила Nr.507 (9.09.2003).
4. Кабинет министров Латвии. Правила Nr.244 (18.07.2002 с поправками 7.10.2003).
5. Кабинет министров Латвии. Правила Nr.125 (2.03.2003).
6. *Decision 1999/1 On The Guidance Documents For The Protocol To Abate Acidification, Eutrophication And Ground-Level Ozone. Annex I. Report Of The Seventeenth Session Of The Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.* - United Nations Economic Commission for Europe (UN ECE), 1999. Смотри Интернет (2003.02.09.) http://www.unece.org/env/lrtap/conv/report/eb68_a1.htm.
7. David Von Hippel. *Technological Alternatives to Reduce Acid Gas and Related Emissions from Energy-Sector Activities in Northeast Asia*, 1996. Смотри Интернет (2003.02.09.) <http://www.nautilus.org/papers/energy/dvhtech.html>.

8. *Economic Evaluation of a Directive on National Emission Ceilings for Certain Atmospheric Pollutants. Part A: Cost-effectiveness Analysis.* - International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), AEA Technology, 1999. – 167 p.
9. *Nitrogen Oxides (NOx), Why and How They Are Controlled.* - U.S. Environmental Protection Agency, 1999. – 48 p.
10. *Ziņojums par Latvijas tautsaimniecības attīstību.* - Rīga: Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija, 2002.g. decembris. - 144 lpp.
11. *World Energy Outlook 2002.* - Paris: International Energy Agency/Organisation for Economic Co-operation and Development, 2002. - 533 p.
12. *Energy Prices & Taxes. Quarterly Statistics. Second Quarter, 2003.* - Paris: OECD/IEA, 2003. - 450 p.

EVALUATION OF MITIGATION OPTIONS FOR REDUCTION OF EMISSIONS FROM ENERGY SECTOR TILL 2010

J.Rekis, E.Vanzovichs

Summary

Latvia has acceded to the UN/ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution and to the several Protocols to the Convention. According Regulation of Cabinet of Ministers On the total maximum allowable emission of air pollutants in the State Latvia has adopted the following: till year 2010 to reduce by 15% pollution caused by sulfur, 34% - nitrogen oxides and 11% - volatile organic compounds in comparison to 1990. The ammonia pollution will remain on the level of 1990. The monitoring of air pollution and measures to prevent pollution are being carried out, which help to reduce emissions of key polluting substances must be done to ensure that the commitments under the Geneva Convention and its Protocols are fulfilled. The Ministry of Environment is working out action plan for decreasing the total emission of air pollutants in the State. Evaluation of present situation and possible development scenarios of emissions from energy sector is done.

Key words: *emission, pollutants, Geneva Convention.*