

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ШРИ-ЛАНКИ В СВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

А.П.Хаустов, И.А.Глущенко, Руван Нандика М.К.

*Экологический факультет, Российский университет дружбы народов,  
Подольское шоссе, 8/5, 113093, Москва, Россия*

В связи с принятием плана развития энергетики Шри-Ланки на 1998-2012 гг. намечается увеличение доли тепловой энергетики. Преимущественный вид топлива — каменный уголь. Исследования показывают, что в случае принятия этой программы загрязнение воздуха увеличится в 10 раз, если не будут приняты специальные защитные меры. Один из оптимальных путей сокращения выбросов в атмосферу — выбор экологически чистой марки угля. Даны рекомендации по сокращению выбросов в атмосферу и использованию альтернативных источников электроэнергии.

В связи с принятием плана развития энергетики Шри-Ланки до 2012 г. [1], что обусловлено острой нехваткой электроэнергии, в стране достаточно остро встает вопрос минимизации воздействий на уникальную природу при сооружении и эксплуатации электростанций. Следует отметить, что, несмотря на тенденцию развития гидроэнергетики, приоритет которой отдавался последние 10-15 лет, произошло смещение акцента в сторону тепловой энергетики, что обусловлено не только экономическими соображениями. Расчеты 1990 года показали, что потенциал гидроэнергетики равен 870 МВт, что делает реальным строительство 27 новых гидроузлов различной мощности. Однако даже поверхностные природоохранные оценки проведены только на трех из них: Верхний Котмале, Бродланде и Ума Оле. Заметим, что себестоимость гидроэлектроэнергии до настоящего времени остается самой низкой и многие страны (например, КНР) взяли курс на сооружение крупных гидроузлов, несмотря на существенные экологические и социальные проблемы, возникающие при их строительстве и эксплуатации.

Прогнозы развития энергетики указывают, что уже в начале нынешнего столетия вклад нетрадиционных возобновляемых источников в мировом энергобалансе составит 10%. В настоящее время мировая энергетика основана на коммерческих энергоресурсах, что характерно для развития индустриального общества в прошлом. Вне всякого сомнения, такие тенденции сохранятся еще длительное время, поскольку перейти на некоммерческие или возобновляемые источники в обозримом будущем не представляется возможным.

Для Шри-Ланки в ближайшее десятилетие сохранится тенденция роста энергетики как за счет использования гидроресурсов, так и за счет строительства тепловых электростанций.

Основные экологические проблемы развития гидроэнергетики Шри-Ланки могут быть сведены к следующим пунктам:

1. Затопление и подтопление земель, связанные в первую очередь с изъятием значительных площадей из землепользования.

Учитывая сельскохозяйственную тенденцию развития Шри-Ланки (преимущественно за счет интенсификации таких культур, как чай, сорго и др.), экономический ущерб будет значительным. Это связано с тем, что по самым низким (пойменным) участкам распространены темноцветные аллювиальные почвы, благоприятные для выращивания рисовых культур. Эти почвы представ-

ляют особую ценность, поскольку на большей части острова распространены латеритные красноземные почвы, не обладающие высоким естественным плодородием. Эти почвы могут давать урожаи, соответствующие гумуфицированным почвам, лишь при регулярном внесении искусственных удобрений.

Кроме этого, создание водохранилищ требует расчистки ложа от растительности. Самая пышная и уникальная растительность (в том числе талипотовая пальма, королевская пальма и др.) расположена в условиях наибольшего увлажнения, то есть в поймах рек. К участкам растительности тяготеет уникальный животный мир со сложившимся ареалом его распространения.

Эксплуатация водохранилищ, учитывая сезонный характер выпадения осадков и значительное испарение, приведет к усилению переработки берегов и эрозии почв. Как правило, площадь участков переработки береговой зоны составляет 35% по отношению к общей площади затопления.

2. Изменение гидрологического, гидрохимического, гидробиологического режимов рек.

Несмотря на достаточно большие сроки деятельности гидроэлектростанций, специальных исследований по данным вопросам (как и по переработке берегов) не проводилось. Можно предположить, что создание каскадов ГЭС в условиях влажного климата (осадков выпадает до 5000 мм/год) приведет к коренному преобразованию естественного режима рек. В первую очередь это отразится на количественных показателях уровня режима и, соответственно, на переформировании берегов в нижнем бьефе и естественном самоочищении водотоков. Коренным образом изменится гидробионтный состав.

3. Создание крупных водохранилищ приводит к изменению естественного ландшафта как в худшую, так и в лучшую сторону.

Шри-Ланка чрезвычайно богата историческими памятниками, из которых наиболее ценны буддийские храмы-ступы, или дагобы. Их строительство датируется III в. до н.э. и представляет значительные по площади ландшафтно-исторические комплексы, которые могут попасть в зону влияния водохранилищ. Утрата таких памятников является потерей мирового наследия одной из древнейших культур. Эти потери в принципе невосполнимы, о чем свидетельствует «горький» опыт строительства Асуанского гидроузла.

4. Проблема установления водоохраных зон является важнейшим мероприятием экологических ограничений хозяйственной деятельности.

Опыт гидротехнического строительства и эксплуатации крупных водохранилищ показывает, что на ранних стадиях проектирования, оценки воздействия на окружающую среду, при проведении экологических экспертиз, необходимо вводить понятие «водохозяйственный комплекс» (ВХК) с учетом бассейнового принципа. Отсюда формируются как допустимые нагрузки на компоненты экосистем, так и регламентация хозяйственной деятельности. При этом на проектных стадиях рассматриваются различные сценарии воздействия водохранилищ на окружающую среду (ОС) в зависимости от уровня воды в верхнем бьефе и объемов выработки электроэнергии. Основной критерий — минимизация негативных последствий.

С учетом сложившейся структуры сельского хозяйства Шри-Ланки (приоритеты отданы выращиванию влаголюбивых культур) основная проблема связана с интенсификацией поступления биогенных веществ и различных органических и неорганических удобрений, что приводит к эвтрофикации водохранилищ. Подтапливаемые земли с регулируемым водным режимом нуждаются в проведении специальных исследований по установлению размеров водоохраных полос (зон), само же развитие сельскохозяйственных про-

изводств на различных ступенях каскада ГЭС при введении экологических ограничений должно быть основано на бассейновом подходе. Последний включает учет естественных и антропогенных факторов в пределах границ всего водосбора при создании превентивных мероприятий и является основой управления сельскохозяйственного развития.

Наблюдения показывают, что с реками в водохранилища поступает от 70 до 90% биогенных веществ и, соответственно, по химическим элементам: 70-80% азота, 95% фосфора, 75-95% растворенных форм кремния.

Бассейновый подход применительно к рассматриваемой проблеме предусматривает:

- установление границ водосбора водохранилищ и частных водозаборов впадающих рек и каналов;
- установление и привязку очагов рассеянных нагрузок биогенных веществ (количественные показатели объемов веществ в тоннах за год на 1 км<sup>2</sup>);
- детализацию биогенных нагрузок в пределах отдельных речных систем;
- выделение системы обвалования земель на побережье водохранилищ и водоемов с установлением выноса биогенных веществ.

Вынос биогенных веществ зависит от климатических, гидрологических, почвенных и ландшафтных факторов, вида сельскохозяйственных культур, урожайности, состояния полей, мелиоративных мероприятий, уровня агротехники и др. Создание многофакторных моделей процессов выноса биогенных веществ для получения универсальных расчетных зависимостей выноса не привело к заметным успехам. Однако проблема прогноза эвтрофикации водохранилищ в тропических странах стоит чрезвычайно остро и требует перестройки всех традиционных форм земледелия.

Эвтрофикация водохранилищ тесно связана с их регулированием объема воды за счет условий притока-оттока. Однако целенаправленное регулирование стока требует оперативных данных по объемам поступающей воды с притоками: содержанию биогенных веществ как в водотоках, так и в отводном канале, распределению биогенных веществ в водохранилище. Только на основе оперативных балансовых расчетов можно создать адекватную модель эвтрофирования, провести санитарные попуски и оптимизировать хозяйственную деятельность на водосборах.

Для экосистемы водохранилищ управление качеством воды производится по ряду признаков: температуре, концентрации кислорода, NH<sub>4</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, Fe, БПК, ХПК и др.

5. Проблема управления качеством ОС базируется на информационных потоках, которые связаны теснейшим образом с организационной структурой мониторинга.

Опыт строительства крупных гидроузлов показывает, что такая система должна функционировать на самых ранних стадиях наполнения водохранилищ и непрерывно совершенствоваться и расширяться. Только тогда информационные потоки станут действенным элементом управления качества ОС в зонах воздействия водохранилищ. Как правило, на первых этапах заполнения водохранилищ стремятся прежде всего оценить и спрогнозировать потери воды, поскольку это прямо связано с выработкой электроэнергии и развитием нежелательных процессов — фильтрация через тело плотины и в обход, в берега, переформирование береговой зоны и т.д., а проблемам формирования химического состава вод не придается большого значения.

Опыт эксплуатации канадских водохранилищ свидетельствует о появлении сильнейших токсикантов (метилртути) после 10-15 лет работы.

**Микрогидроэнергия.** Несмотря на то, что большинство перспективных гидростворов уже используются для создания гидроэлектростанций, следует отметить перспективность возможных путей использования микро- и мини-гидроэнергии, что, по нашему мнению, является одним из оптимальных вариантов.

В Шри-Ланке на сегодняшний день существуют и разработаны технические условия строительства более 400 микрогидростанций, особенно в Центральном районе страны. Большинство из них на сегодняшний день находятся в заброшенном состоянии, и расчеты показывают, что только 140 из них могут быть использованы после ремонта. Около 60 микроэлектростанций из этих 140 уже реконструированы и находятся в рабочем состоянии. Используя эти 60 недостроенных микроэлектростанций, можно получать мощность около 30 МВт, а при введении всех 140 электростанций возможная мощность достигнет 50 МВт.

Таким образом, перспективы использования малых гидроэнергетических станций могут быть сведены к следующим мероприятиям:

- сооружению новых микро- и минигидроэлектростанций;
- восстановлению заброшенных минигидроэлектростанций;
- использованию ирригационных каналов.

**Солнечная энергия.** В Шри-Ланке практически не рассматривали перспективы использования солнечной энергии. Хотя в перспективе такой вид энергии может быть использован для бытовых нужд в отдаленных деревенских районах страны, которые еще не соединены с общей энергосистемой страны.

**Ветровая энергия.** В 1992 г. в южной части страны в городе Хамбантога построена пробная ветровая электростанция мощностью 3 МВт. В этом же году сделаны предварительные исследования по обоснованию строительства еще одной ветровой электростанции на юге острова мощностью 200 МВт. Однако дальнейшие исследования показали, что наиболее оптимально строительство 10 МВт станции на юге страны, которая должна быть построена к 2001 г.

Современное состояние энергетического сектора экономики Шри-Ланки тормозит развитие страны, так как не может обеспечить потребности промышленности и населения в электроэнергии, которые возрастают ежегодно примерно на 10% [1]. За период с 1982 по 1996 год производство электроэнергии на душу населения в Шри-Ланке удвоилось, увеличившись со 100 до 200 кВт · ч/чел., но по-прежнему этот показатель остается низким по сравнению с остальными странами Южной Азии.

В целом энергетика Шри-Ланки базируется на двух основных типах электростанций — ГЭС и ТЭС. Доля ГЭС в энергетическом балансе страны гораздо выше, чем доля тепловых электростанций, однако заметна тенденция ее снижения. На сегодня мощность гидроэлектростанций составляет 1115 МВт, а ТЭС — 405 МВт (около 40% общей мощности энергосистемы). При этом существующие ТЭС работают на жидком высокосернистом топливе (мазут и дизельное топливо) и дают большое количество выбросов веществ-загрязнителей (ВЗ) в атмосферу (табл. 1).

Данная таблица отражает масштабы и структуру воздействия ТЭС на состояние атмосферы. Большая часть выбросов представлена двумя загрязнителями — оксидами серы и азота (67,1 и 22,6%, соответственно). Несмотря на небольшую мощность дизельных ТЭС, основная доля загрязнения атмосферы по оксидам серы (64%) приходится на Сапугаскандские дизельные ТЭС (72 и 40 МВт). Это говорит о том, что существующие сегодня ТЭС устарели морально и физически, и, кроме этого, они используют высокосернистое топ-

ливо. Производство электроэнергии на данных ТЭС наносит экономический ущерб окружающей среде (табл. 2).

Т а б л и ц а 1  
Расход топлива и выбросы в атмосферу основных ВЗ от существующих ТЭС.

| Название ТЭС                      | Расход топлива, тыс. т/год | Выбросы ВЗ             |                          |                          |  |            | Сумма, % |
|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--|------------|----------|
|                                   |                            | М <sup>3</sup> , т/год | MSO <sub>x</sub> , т/год | MNO <sub>x</sub> , т/год | MV <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , т/год | MCO, т/год |          |
| Kelantissa GT 120 МВт             | 271,5                      | 3,2                    | 2660                     | 2176                     | 0,312                                  | 988        | 20,7     |
| Kelantissa GT 115 МВт             | 245,6                      | 2,9                    | 2406                     | 1968                     | 0,282                                  | 893,7      | 18,7     |
| Kelantissa Oil Fired Steam 44 МВт | 86,7                       | 2,0                    | 1699                     | 732                      | 0,395                                  | 332,5      | 9,8      |
| Sapugaskanda Diezel 72 МВт        | 122,2                      | 2,8                    | 8385                     | 1022                     | 2,64                                   | 464,2      | 35,0     |
| Sapugaskanda Diesel Ext. 40 МВт   | 55,1                       | 1,3                    | 3779                     | 461                      | 1,19                                   | 209,2      | 15,8     |
| Сумма, %                          | —                          | 0,04                   | 67,1                     | 22,6                     | 0,02                                   | 10,2       | 100      |

Т а б л и ц а 2  
Экономический ущерб от выбросов в атмосферу существующих ТЭС, млн. долл./год

| Название ТЭС                      | Пыль  | Диоксид серы | Оксиды азота | Оксид ванадия | Монооксид углерода | Сумма, % |
|-----------------------------------|-------|--------------|--------------|---------------|--------------------|----------|
| Kelantissa GT 120 МВт             | 0,002 | 0,164        | 0,250        | 0,001         | 0,003              | 14       |
| Kelantissa GT 115 МВт             | 0,002 | 0,148        | 0,227        | 0,001         | 0,003              | 12       |
| Kelantissa Oil Fired Steam 44 МВт | 0,002 | 0,209        | 0,169        | 0,003         | 0,002              | 13       |
| Sapugaskanda Diezel 72 МВт        | 0,003 | 1,033        | 0,235        | 0,018         | 0,001              | 42       |
| Sapugaskanda Diesel Ext. 40 МВт   | 0,001 | 0,466        | 0,106        | 0,008         | 0,003              | 19       |
| Сумма, %                          | 0,3   | 66           | 32           | 1             | 0,4                | 100      |

Как отмечалось выше для развития страны необходимо оперативно увеличивать производство электроэнергии, что возможно лишь благодаря строительству новых ТЭС. Согласно [1] в ближайшем будущем (1998-2012 гг.) в Шри-Ланке планируется введение в эксплуатацию нескольких новых тепловых и гидроэлектростанций, при этом доля тепловой электроэнергии должна возрасти более чем на 40%, так как гидропотенциал крупных рек уже практически исчерпан, и в условиях Шри-Ланки сегодня возможно строительство только малых ГЭС.

В качестве основного вида топлива для ТЭС планируется использовать австралийский уголь (его доля в топливном балансе должна увеличиться до 50%). Выбор этого вида топлива обусловлен невозможностью использовать газ, дороговизной нефти и относительной дешевизной угля.

В связи с тем, что планируемые структурные изменения в энергосистеме могут значительно ухудшить экологическую ситуацию в стране, весьма актуальным представляется проведение количественной оценки масштабов воздействия ТЭК Шри-Ланки на состояние атмосферы с учетом перспективы развития отрасли. Кроме того, весьма важным также представляется принципиальный технологический анализ возможных путей снижения негативного влияния энергетики на ОС и расчет эколого-экономического ущерба. Такие ориентировочные данные на первых стадиях ОВОС позволяют выбрать и

заложить в проектные решения наиболее эффективные мероприятия, позволяющие избежать грубых ошибок.

Для достижения данной цели был поставлен ряд задач: расчет и сравнение валовых выбросов в атмосферу от существующих и проектируемых ТЭС, определение динамики структуры выбросов, подбор сжигаемого топлива для снижения выбросов в атмосферу и снижения экономического ущерба ОС.

Решение поставленных задач носит ориентировочный характер, поскольку имеющаяся информация не позволяла применять сложные модели оценки воздействия ТЭС на ОС, как и достаточно надежные экстраполяционные методы прогноза. Однако на данной стадии предлагаемая модель ОВОС и прогноза оправдана тем, что полученные результаты позволяют решать стратегическую задачу по охране ОС. Суть ее состоит в ориентации ТЭС Шри-Ланки на определенные виды топлива, что уже само по себе позволяет снизить техногенный пресс на ОС, какой бы метод ни применялся в оценке.

При оценке воздействия ТЭК Шри-Ланки на воздушную среду были использованы следующие методические приемы:

1. Системный подход, предполагающий рассмотрение проектов ТЭС не отдельно друг от друга, а как единую энергосистему, воздействующую на ОС.

2. Выделение не только значимых воздействий на ОС, но и основных загрязнителей в единой энергосистеме, т.е. ТЭС наибольшего экологического воздействия.

3. Последовательное рассмотрение путей снижения воздействия на ОС при реализации планов развития энергетики.

Проблемой при оценке и прогнозе был выбор стандартов качества окружающей среды. Различия значений ПДК (максимально разовых, среднесуточных и среднегодовых), существующие в мире, причем зачастую значительные, приводят к разногласиям в оценке и неадекватной экологической обеспеченности проектов. Учитывая уникальность природы и памятников Шри-Ланки, все расчеты базировались на наиболее жестких стандартах качества, принятых в России, которые рекомендуется внедрить в практику последующих экологических оценок в Шри-Ланке.

Показателем воздействия проектируемого ТЭК на ОС являются валовые выбросы пяти основных загрязнителей (пыль, диоксид серы, оксиды серы, пентаоксид ванадия и монооксид углерода). С помощью расчета валовых выбросов можно определить вклад основных объектов, которые могут принести значительный экологический ущерб среде (табл. 3). Расчеты выбросов проводились по стандартной методике [2] на основе данных о количестве и характеристиках сжигаемого топлива, а также показателях режимов сжигания топлива и эффективности природоохранного оборудования.

Таким образом, наибольшее воздействие на состояние атмосферы (94% валовых выбросов от всех проектируемых тепловых электростанций) будут оказывать две угольные ТЭС по 900 МВт и одна газотурбинная ТЭС 525 МВт. При этом основной вклад в загрязнение будет принадлежать оксидам углерода, серы и азота.

Общий экономический ущерб окружающей среде от загрязнения атмосферы, рассчитанный по стандартной методике на основе валовых выбросов основных загрязняющих веществ [3], в случае полной реализации программы развития теплоэнергетики Шри-Ланки может составить около 17 млн. долл. в год (табл. 4), из которых более 14 млн. долл. приходится на проектируемые ТЭС.

Основную экологическую опасность в масштабах всей страны представляют три тепловые электростанции: две угольные ТЭС — мощностью 900 МВт

каждая и газотурбинная ТЭС — мощностью 525 МВт. Атмосферные выбросы данных ТЭС могут нанести около 70% экономического ущерба, причиняемого ОС от выбросов всех ТЭС Шри-Ланки. С точки зрения структуры выбросов в атмосферу веществ-загрязнителей наибольший ущерб обусловлен выбросами пыли, оксидов серы и азота (табл. 5).

Таблица 3

Валовой годовой выброс в атмосферу основных загрязнителей от проектируемых ТЭС

| Название ТЭС                  | Выбросы     |                         |                         |                                       |           |          |
|-------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------|----------|
|                               | Пыль, т/год | SO <sub>x</sub> , т/год | NO <sub>x</sub> , т/год | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , т/год | CO, т/год | Сумма, % |
| Puttalama, West Coast 900 МВт | 6100        | 23100                   | 15120                   | —                                     | 107380    | 44       |
| Trincomalee 900 МВт           | 6100        | 23100                   | 15120                   | —                                     | 107380    | 44       |
| Gas Turbine 525 МВт           | 11,7        | 9600                    | 7850                    | 1,13                                  | 3570      | 6        |
| Combined Cycle 150 МВт        | 2,7         | 2200                    | 1800                    | 0,26                                  | 820       | 1,4      |
| Combined Cycle 300 МВт        | 5,1         | 4200                    | 3450                    | 0,50                                  | 1570      | 2,6      |
| Lakdhanavi Diesel 3 МВт       | 0,73        | 2170                    | 265                     | 0,68                                  | 120       | 0,5      |
| KND BOO Diesel 51 МВт         | 1,61        | 4820                    | 590                     | 1,52                                  | 270       | 1,5      |
| Сумма, %                      | 3,49        | 19,5                    | 13                      | 0,001                                 | 64        | 100      |

Таблица 4

Возможный экономический ущерб от выбросов в атмосферу основных ВЗ при реализации программы развития теплоэнергетики

| Название ТЭС             | Ущерб (млн. долл./год) от выбросов: |               |               |                |                     | Сумма, % |
|--------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|----------|
|                          | пыли                                | диоксида серы | оксидов азота | оксида ванадия | монооксида углерода |          |
| Puttalama, West Coast    | 1,194                               | 1,426         | 1,740         | —              | 1,301               | 27       |
| Trincomalee              | 1,194                               | 1,426         | 1,740         | —              | 0,301               | 27       |
| Gas Turbine              | 0,012                               | 1,053         | 1,609         | 0,007          | 0,018               | 16       |
| Combined Cycle 150 МВт   | 0,001                               | 0,136         | 0,207         | 0,001          | 0,002               | 2        |
| Combined Cycle 300 МВт   | 0,003                               | 0,260         | 0,398         | 0,002          | 0,004               | 4        |
| Lakdhanavi Diesel 23 МВт | 0,001                               | 0,268         | 0,061         | 0,005          | 0,001               | 2        |
| KND BOO Diesel 51 МВт    | 0,002                               | 0,594         | 0,135         | 0,010          | 0,001               | 4        |
| Существующие ТЭС         | 0,010                               | 2,020         | 0,987         | 0,031          | 0,012               | 18       |
| Сумма, %                 | 14                                  | 42            | 40            | 0,3            | 3,7                 | 100      |

Таблица 5

Структура экономического ущерба при выбросе основных загрязнителей в атмосферу

| ТЭС                   | % ущерба по выбросам: |              |      |
|-----------------------|-----------------------|--------------|------|
|                       | оксидов азота         | оксидов серы | пыли |
| Угольная в Тринкомали | 25,3                  | 19,9         | 49,4 |
| Угольная в Путталаме  | 25,3                  | 19,9         | 49,4 |
| Газотурбинная         | 23,4                  | 14,7         | 0,5  |
| Сумма                 | 74                    | 79           | 99,3 |

Одним из простых и наиболее эффективных методов предотвращения загрязнения атмосферы и снижения экологического ущерба является использование качественного топлива [4]. Подбор марки угля с оптимальным сочетанием зольности, сернистости и калорийности позволяет добиться значительного снижения выбросов основных загрязнителей, сократить экономический ущерб почти в 2 раза [5] (табл. 6).

Таблица 6

## Оценка эффективности подбора угля

| Загрязнитель   | Стандартный состав угля* | Марка Blair Athol | Снижение, % |
|--|--------------------------|-------------------|-------------|
| Выбросы, тыс. т/год  |                          |                   |             |
| Пыль   | 6,09                     | 3,97              | 65          |
| Диоксид серы   | 23,14                    | 12,31             | 53          |
| Ущерб, млн. долл. США в год  |                          |                   |             |
| Пыль   | 1,19                     | 0,78              | 65          |
| Диоксид серы   | 1,43                     | 0,76              | 53          |
| Максимальная приземная концентрация (расчетное значение), доли ПДК |                          |                   |             |
| Пыль   | 1,2                      | 0,73              | 61          |
| Диоксид серы   | 2,28                     | 1,13              | 50          |

\*Стандартным в данном случае считается уголь со средними для месторождений Австралии показателями сернистости, зольности и калорийности.

Выбор марки угля с оптимальным составом необходимо но недостаточное условие снижения негативного воздействия ТЭС на атмосферу, так как не обеспечивается выполнение всех требований к качеству ОС (табл. 7). Лишь только после дополнительной очистки выбросов возможно достичь нормативных значений приземной концентрации загрязнителей.

Таблица 7

## Максимальные приземные концентрации основных загрязнителей в атмосфере до и после проведения мероприятий по очистке отходящих газов

| Используемый уголь | Расчетная максимальная концентрация, доли ПДК |                           |             |                         |              |                         |
|--------------------|---|---------------------------|-------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
|                    | пыль  |                           | оксиды серы |                         | оксиды азота |                         |
|                    | до очистки                                    | после очистки (КПД 99,5%) | до очистки  | после очистки (КПД 90%) | до очистки   | после очистки (КПД 70%) |
| Стандартный состав | 1,20  | 0,015                     | 2,28        | 0,23                    | 1,86         | 0,56                    |
| Blair Athol        | 0,73  | 0,009                     | 1,13        | 0,11                    | 1,73         | 0,52                    |

Подбор более качественного угля является необходимым, но недостаточным условием снижения воздействия ТЭС на окружающую среду, так как не может обеспечить требуемого качества воздушной среды. Поэтому для предотвращения деградации окружающей среды, снижения здоровья населения и причинения ущерба сельскому хозяйству и уникальной природе Шри-Ланки необходимо включить в проекты ТЭС следующие мероприятия очистки отходящих газов:

1. Высокоэффективные золоуловители, которые будут обеспечивать очистку выбросов от пыли.



2. Сероулавливающие установки, которые снизят выбросы оксидов серы до допустимого уровня.

3. Системы технологического подавления образования оксидов азота или системы улавливания оксидов азота.

Стоимость систем газоочистки возрастает пропорционально коэффициенту очистки, но зависимость эта не всегда линейная и определяется методами очистки, конкретными условиями работы ТЭС и другими параметрами. Однозначно можно сказать, что в области КПД очистки порядка 80-90% стоимость самих систем очистки и эксплуатационные расходы возрастают значительно, так что установка таких систем становится экономически неприемлемой (табл. 8).

Таблица 8

Эколого-экономические характеристики некоторых методов снижения выбросов загрязнителей в атмосферу [4], [6]

| Газовые выбросы | Метод очистки                             | КПД очистки, % | Капитальные затраты на очистные мероприятия, долл./кВт | Примечания   |
|-----------------|---|----------------|--|--|
| Пыль            | Электрофильтры                            | 99,5-99,9      | 47   | КПД зависит от электрофизических свойств золы      |
|                 | Распылительная абсорбция                  | 30-60          | 70-120   | Применяется при сжигании малосернистых углей       |
| Оксиды серы     | Сухие методы сероочистки                  | 70-90          | 50-220   | Количество образующего шлама незначительное        |
|                 | Мокрые методы сероочистки                 | > 90           | 150-280  | Возможно производство гипса как побочного продукта |
|                 | Технологическое подавления образования    | 20-40          | 0,5-10   | Требует постоянного контроля за процессом горения  |
| Оксиды азота    | Селективная гомогенная очистка            | 30-70          | 10-20  | При нарушении технологии возможны выбросы аммиака  |
|                 | Селективное каталитическое восстановление | 70-90          | 50-150   | Неэффективно при сжигании высокосернистых углей    |

Анализ эколого-экономических показателей различных методов, приведенных в таблице, позволяет рекомендовать к использованию следующее оборудование:

1. Электрофильтры с КПД очистки 99,9% для защиты от золы и пыли.

2. Установка сероулавливающего оборудования с сухим методом очистки с КПД 60-70% и, как более перспективного и дорогого оборудования, мокрого метода очистки с КПД до 90% и более.

3. Сочетание технологического подавления образования оксидов азота и дальнейшей селективной гомогенной доочистки. КПД очистки такого решения составит около 70%. В случае установки предложенных очистных сооружений выбросы вредных веществ не будут превышать лимитов и обеспечат нормативы ПДК (табл. 9).

Т а б л и ц а 9

## Прогноз выброса вредных веществ в атмосферу при использовании рекомендуемых технологий

| ТЭС                   |                  | Расчетная максимальная концентрация (доли ПДК) |                      |              |               |               |               |
|-----------------------|------------------|--|----------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                       |                  | пыли   |                      | оксидов серы |               | оксидов азота |               |
|                       |                  | до очистки                                     | после очистки        | до очистки   | после очистки | до очистки    | после очистки |
| Путталама             | без подбора угля | 1,20   | 0,015                | 2,28         | 0,23          | 1,86          | 0,56          |
|                       | с подбором угля  | 0,73   | 0,009                | 1,13         | 0,11          | 1,73          | 0,52          |
| Тринкомали            | без подбора угля | 1,20   | 0,015                | 2,28         | 0,23          | 1,86          | 0,56          |
|                       | с подбором угля  | 0,73   | 0,009                | 1,13         | 0,11          | 1,73          | 0,52          |
| Газотурбинная 525 МВт |                  | 0,003  | $3,86 \cdot 10^{-5}$ | 1,27         | 0,38          | 1,30          | 0,78          |

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В результате строительства новых ТЭС выбросы основных загрязняющих веществ — золы, оксидов серы, азота, ванадия и углерода — могут увеличиться в 11 раз с 34 тыс. т/год до 391 тыс. т/год.

2. Основной вклад в загрязнение атмосферы будут вносить выбросы оксидов азота (49%), оксидов серы (37%) и выбросы пыли (10%).

3. Основной объем выбросов основных загрязняющих компонентов (68%) будет приходиться на три крупные ТЭС: угольные в Путталаме (30%) и Тринкомали (29%), а также газотурбинную ТЭС 525 МВт (9%), что в 3,6 раза превышает долю всех существующих на данный момент ТЭС (19%).

4. Сжигание угля на Путталамской и Тринкомальской ТЭС будет обуславливать 79% валовых выбросов основных загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с выбросами всей теплоэнергетики.

В качестве экологического условия реализации проекта предложены следующие мероприятия, направленные на снижение негативного воздействия проекта до допустимого уровня:

1. Подбор более качественного сорта угля на угольных ТЭС, за счет чего можно снизить выбросы в атмосферу более чем на 40% по сравнению с базовым вариантом.

2. Обязательная установка газоочистного оборудования даже несмотря на удорожание проекта на 17-28% в зависимости от методов очистки.

3. Отказ от использования дизельных ТЭС малой мощности, сжигающих высокосернистое жидкое топливо и имеющих высокие показатели удельных выбросов, т.е. низкую экологическую эффективность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Report on Long Term Generation Expansion Planning Studies 1998-2012. Ceylon Electricity Board, June 1998, Sri Lanka.
2. Электроэнергетика и природа (экологические проблемы развития электроэнергетики) / Под ред. Г.Н. Лялика, А.Ш. Резниковского. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 352 с.
3. Коробова О.С. Методические указания для проведения практических занятий по теме «Расчет экстернатальных издержек от загрязнения окружающей среды». — М.: Изд-во РУДН, 1998. — 21 с.
4. Pollution Prevention and Abatement Handbook. Part III. Thermal Power. Guidelines for New Plans, September 1, 1997 by World Bank Group.
5. Глущенко И.А., Руван Нандика М.К., Хаустов А.П. ТЭК Шри-Ланки: воздействие на атмосферу // Экология и промышленность. — 2000, май. — С. 24-27.

6. Носков А.С., Савинкина М.А., Анищенко Л.Я. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способ снижения наносимого ущерба. — Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО АН СССР, 1990.

## THE ECOLOGICAL PROBLEMS OF SRI LANKA CONNECTED WITH THE DEVELOPMENT OF ENERGY SECTOR

A.P.Khaustov, I.A.Gluschenko, Ruvan Nandika M.K.

*Ecological Faculty, Peoples' Friendship Russian University,  
Podolskoye shosse, 8/5, 113093, Moscow, Russia*

According to the Long Term Generation Expansion Plan 1998-2012 fast developing energy sector of Sri Lanka is moving toward thermal electricity generation based on coal combustion. The studies showed that in case of full program implement air pollution increases about 10 times unless special environmental protection measures are made. One of the most cost effective ways to reduce the adverse impact on the atmosphere is to select certain coals with appropriate chemical composition in combination with flue gas treatment equipment. There were made principal recommendations to reduce the impact on the atmosphere and thus to minimize economic damage caused by increasing of air emissions from old and new thermal power stations.

---