

Производственно-технический журнал

# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА



*ЭЭП*  
АЭПИ

Производственно-технический журнал  
«ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА»

№ 12 (декабрь) 2008

Учредитель издания:  
ООО «АЭПИ «ЭРА»



Свидетельство  
о регистрации  
ПИ № ФС77-21045  
от 12 мая 2005г.

Подписной индекс  
в каталоге Агентства  
«Книга-Сервис»  
- 12959

Главный редактор:  
Троегубов С. А.  
editor@batd.ru

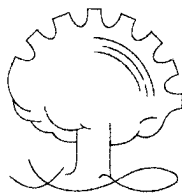
Редактор по работе  
с авторами:  
Шишканова Н. Е.  
authors@batd.ru

Размещение  
рекламы  
reklama@batd.ru

Телефон редакции:  
(495) 769-05-87  
(985) 769-05-87

E-mail:  
editor@batd.ru  
aepi-era@yandex.ru

Почтовый адрес:  
129337, Москва,  
а/я 54  
ООО «АЭПИ «ЭРА»



# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА

№ 12 (декабрь) 2008

Редакция не несет ответственность за содержание рекламных материалов.  
Присланные в редакцию материалы не рецензируются и не возвращаются.  
Авторы несут ответственность за точность предоставляемой информации.  
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.  
Перепечатка и другое воспроизведение материалов журнала возможно только  
при условии сохранения авторства.  
При подготовке данного номера использована СПС КонсультантПлюс.

*Традиционно под экологическим проектированием понимают прогноз и оценку воздействия на окружающую природную среду любого проекта хозяйственной и иной деятельности человека, которая потенциально может оказать негативное воздействие на окружающую среду<sup>1</sup>. Такой подход доказал своё право на жизнь, но он невольно подталкивает проектировщика при создании новых технических объектов к использованию типовых, не всегда оптимальных с точки зрения экологии инженерных решений.*

## Функционально-экологическое проектирование и оценка полного жизненного цикла

*П.А. Гаврилин*

*Филиал №12 «Теплоэнергосервис» ОАО «МОЭК»*

В соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 14041-2000 обеспечение экологической безопасности технических систем должно базироваться на трёх базовых принципах:

— оценка полного жизненного цикла технической системы;

— функциональный подход при создании новых технических систем;

— исследование входящих и исходящих потоков вещества, энергии и информации на различных иерархических уровнях технической системы<sup>2</sup>.

Однако, ошибочно полагать, что для того, чтобы оптимизировать процесс проектирования, необходимо лишь дать проектировщику полный объём информации обо всех потоках вещества и энергии на всех стадиях полного жизненного цикла технического объекта. Большое количество информации о потоках различной природы и различной интенсивности лишь дезориентирует его.

Та информация, на основании которой принимаются

проектировочные решения, должна отвечать двум требованиям. Во-первых, проектировщик должен иметь возможность влиять на те потоки, информацию о которых он получает. Подробности о негативном воздействии на окружающую природную среду на этапе добычи и переработки какого-либо сырья не несут никакой полезной информации. Особенно, если учесть, что разные производители одного и того же сырья оказывают различное негативное воздействие на окружающую среду. Один предприниматель сводит вредные выбросы к минимуму, другой – ограничивается соблюдением существующих требований, а третий – регулярно платит штрафы за нарушение экологического законодательства.

Вторым требованием является определение некой интегральной экологической единицы (с единой размерностью), которая позволит сравнивать, а также складывать потоки различной природы (например, шум и вредные выбросы в атмосферу).

В конечном счёте, эти два требования выливаются в необходимость экологической сертификации производств с тем, чтобы выходящая с них продукция имела не только цену, но и экологические индексы, отражающие удельный ущерб (на единицу продукции), нанесённый окружающей среде на всех предыдущих стадиях жизненного цикла, а также удельный ущерб, который будет нанесён при её утилизации (рециркуляции).

Разработку методик для данной сертификации можно проводить на основе существующей методики определения предотвращённого экологического ущерба<sup>3</sup>, единственное, отказавшись от размерности, подверженной инфляции. Определённый опыт в данном направлении накоплен компанией Volvo, разработавшей систему стратегий экологических приоритетов для проектирования продуктов (Environmental Priority Strategies), в которой для получения общего индекса материала, выраженного в единицах экологического воз-

1 Дьяконов К.Н. Экологическое проектирование и экспертиза [Текст] / К.Н. Дьяконов, А.В. Дончева. – М.: Аспект Пресс, 2002. – С.6

2 ГОСТ Р ИСО 14041-2000. Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла. Определение цели, области исследования и инвентаризационный анализ [Текст]. – Введ. 2001-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 19 С.

3 Временная методика определения предотвращённого экологического ущерба [Текст]. – М.: [б.и.], 1999 – 41 с.

действия (environmental load units, ELU) на килограмм используемого материала, суммируют все стадии жизненного цикла. При вычислении индекса учитывают следующие факторы: масштаб (общее воздействие на среду), распределение (размер и состав), частоту и интенсивность (степень воздействия на подвергающуюся воздействию территории), длительность (постоянство воздействия), вклад (отношения эффекта от 1 кг материала к общему эффекту), восстанавливаемость (стоимость ликвидации воздействия от 1 кг материала)<sup>4</sup>.

Исходя из вышеизложенного, функцию технической системы можно представить, как точку, в которой выполняется уравнение:

$$\sum R_i = \sum D_i + F, \quad (1)$$

где  $\sum R_i$  – сумма входящих потоков (ресурсы, необходимые для реализации функции),

$\sum D_i$  – сумма исходящих вредных потоков,

$F$  – исходящий полезный поток (реже – потоки) энергии (механической, электрической, тепловой и т.д.), характеризующий функцию технической системы.

При этом под потоками понимается как расходные материалы (топлива, смазочные материалы), так и конструктивные материалы (и даже отдельные детали и узлы), из которых изготовлены элементы технической системы. Так, например, если автомобильный завод устанавливает на производимых автомобилях готовые двигатели, производимые независимыми от него моторными заводами, то для проектировщика автомобиля одним из потоков его технической системы будет «двигатели» с расходом чуть больше единицы на весь жизненный цикл. При этом удельный экологический ущерб на один двигатель

должен рассчитываться при сертификации двигателя.

Таким образом, главную задачу экологического проектирования можно определить, как оптимальное исполнение технической функции с минимальными затратами ресурсов и вредным воздействием на окружающую среду:

$$F \rightarrow opt \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_R + \mathcal{E}_D \rightarrow min \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}_R$  и  $\mathcal{E}_D$  – суммарный экологический ущерб от входящих и исходящих вредных потоков соответственно.

При этом решения проектировщика, направленные на снижение ущерба окружающей природной среде, можно подразделить на три категории:

— эксплуатационные (направленные на минимизацию вредных исходящих потоков непосредственно на этапе эксплуатации);

4 Гридэл Т.Е., Промышленная экология [Текст] / Т.Е. Гридэл, Б.Р. Алленби; пер. с англ. Э. В. Гирусова – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – С.294.

Таблица 1  
Шкала относительной значимости

№№ п/п	Уровень значимости	Количественное значение
1	Равная значимость	1
2	Умеренное превосходство	3
3	Существенное или сильное превосходство	5
4	Значительно (большое) превосходство	7
5	Очень большое превосходство	9

— конструктивные (направленные на минимизацию входящих и частично вредных исходящих потоков вещества и энергии);

— технологические (направленные на минимизацию вредного влияния на окружающую природную среду производства проектируемой технической системы).

Суммарный экологический ущерб от получения ресурсов можно выразить формулой:

$$\mathcal{E}_R = \sum(R_i \times e_{R_i}) + \mathcal{E}_T' \quad (4)$$

где  $R_i$  — расход  $i$ -го входящего потока;

$e_{R_i}$  — удельный экологический ущерб  $i$ -го входящего потока;

$\mathcal{E}_T'$  — удельный экологический ущерб от производства единицы технической системы (без учёта предыдущих этапов жизненного цикла).

Экологический ущерб, наносимый исходящими вредными потоками, определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_D = \sum(D_i \times e_{D_i}) \quad (5)$$

где  $D_i$  — расход  $i$ -го исходящего вредного потока вещества или энергии;

$e_{D_i}$  — удельный экологический ущерб  $i$ -го исходящего вредного потока, который может характеризовать как непосредственное негативное воздействие технической системы на окружающую среду, так и экологический ущерб на этапах её утилизации и рециркуляции.

Надо отметить, что воз-

можна ситуация, когда расходы входящих и исходящих потоков одного и того же вещества могут приниматься одинаковыми. Это относится в основном к твёрдым веществам, так как при эксплуатации потери на трение и различные виды износа зачастую пренебрежимо малы.

В итоге, исследование полного жизненного цикла позволяет оценить экологический ущерб от реализации технической функции одной единственной величиной, что необходимо при выборе оптимального варианта из нескольких предложенных разработчиками.

Изложенная выше методика оценки полного жизненного цикла технической системы является предпочтительной при использовании методологии функционально-экологического проектирования (ФЭП) технических систем, рекомендованной ГОСТ Р 51750-2001<sup>5</sup>. Данная методология исходит из необходимости обеспечения соответствия между значимостью основных функций технической системы и экологическим ущербом от их реализации.

Идеологически ФЭП опирается на закон соответствия между функциями и структурой. Суть этого закона заключается в том, что в материальной структуре правильно спроектированной и нормально работающей технической системы каждая подсистема (блок, узел, деталь) имеет вполне определённую функцию по обеспечению работы технической системы. И если лишить техническую систему любой её подсистемы, то она либо перестанет работать (выполнять

свою функцию), либо ухудшит показатели своей работы<sup>6</sup>.

Среди всех подсистем, как правило, можно выделить главную подсистему, работа которой непосредственно обеспечивает выполнение функции технической системы, а остальные подсистемы (элементы) обеспечивают работу главной подсистемы. При этом функции главной подсистемы и всей технической системы часто совпадают. Главная подсистема обычно является ядром, вокруг которой группируются остальные подсистемы.

В технической системе подсистемы обычно имеют определённое взаимное расположение (жёсткие связи), соединены между собой потоками передачи вещества, энергии или информации (обычно гибкие связи) и имеют необходимую защиту от действия неблагоприятных факторов, что в итоге гарантирует целостность и работоспособность всех подсистем<sup>7</sup>.

В связи с этим аналитический этап ФЭП традиционно начинается с построения структурно-функциональной модели технической системы, по которой можно отследить как соответствие технической системы вышеуказанному закону, так и потоки вещества и энергии внутри системы. Эта модель, в свою очередь, начинается с построения функциональной модели в виде графа, для чего определяются главная и второстепенные функции технической системы (I уровень), основные функции (II уровень) и, при более детальной проработке, вспомогательные функции (III и IV уровень).

Значимости функций технической системы определяет-

<sup>5</sup> ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения [Текст]. – Введ. 2002-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – С.2.

<sup>6</sup> Половинкин А.И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение [Текст] / А.И. Половинкин. – М.: Информэлектро, 1991. – С.8.

<sup>7</sup> Там же, С.40.

ся с помощью метода расстановки приоритетов (метода парных сравнений), основанного на особых формах экспертизы и матричной записи. Эксперты высказывают свои суждения путём парных сравнений значимости функций с использованием шкалы словесных определений уровня значимости (табл. 1)<sup>8</sup>.

Коэффициенты значимости вычисляются по формуле:

$$K_i = \sqrt[n]{\alpha_{1j} \times \dots \times \alpha_{ij} \times \dots \times \alpha_{nj}} \quad (6)$$

где  $n$  – размер матрицы сравнений;

$\alpha_{ij}$  – количественное значение уровня значимости  $i$ -ой функции по отношению к  $j$ -ой.

Одним из ключевых моментов ФЭП является построение функционально-идеальной модели (ФИМ) и определение идеального конечного результата (ИКР) для функции. Под ИКР понимают требуемое или желаемое состояние объекта. Понятие ФИМ несколько шире. Это образ, гипотеза, метафора, содержащие

представление о том, как должен функционировать объект, чтобы достичь ИКР. Поэтому чаще формулируют ФИМ, в которой неявно задан ИКР<sup>9</sup>.

ИКР является ситуацией, когда функция элемента технической системы выполняется, а сам элемент отсутствует. Существует три основных варианта достижения этой цели: повышение многофункциональности элементов технической системы; сворачивание частей системы в рабочей орган; передача функции элементу надсистемы (в конечном случае надсистемой будет окружающая природная среда)<sup>10</sup>.

На поисково-исследовательском этапе с помощью различных методик активации творческой деятельности вырабатываются идеи и предложения по реализации функций и совершенствованию технической системы. Из предложенных вариантов реализации функций выбирают наиболее удачные, которые проверяются на практическую реализуемость, и для которых проводится более глубокая проработка с определением удельного

экологического ущерба для каждой подсистемы и для всей системы в целом. Это позволяет сделать окончательный выбор и обеспечить максимальную безопасность технической системы для окружающей природной среды.

Дальнейшее развитие ФЭП предполагает накопление опыта и информации по созданию структурно-функциональных моделей технических систем различного типа и по применению типовых приёмов устранения экологических системных противоречий, а также дальнейшую интеграцию с различными методиками оценки полного жизненного цикла. Но без введения общегосударственной экологической сертификации продукции с присвоением ей индексов, отражающих экологический ущерб на всех стадиях жизненного цикла, возможности рассматриваемой методологии окажутся значительно урезанными.



8 Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – С.116.

9 Орлов М.А. Основы классической ТРИЗ. Практическое руководство для изобретательного мышления [Текст] / А.И. Орлов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – С.134.

10 Там же, С.42.