

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ



О.А. Притужалова

Для оценки экологической ограниченности сначала по формуле (2) рассчитываются коэффициенты, специфические для каждого фактора воздействия на среду. Умножение величин факторов воздействия, выявленных в ходе ИАЖЦ, на соответствующие коэффициенты дает итоговую оценку – «пункты загрязнения окружающей среды» по каждому фактору, сложив которые можно определить общий уровень влияния продукта или процесса на ОС.

$$K_i = \frac{1}{KB_i} \times \frac{\Phi B_i}{KB_i} \times 10^{12} \quad (2)$$

Ольга Александровна Притужалова, к.г.н., ведущий инженер, отдел экологического мониторинга и аудита, ЗАО «НПЦ «СибГео», доцент, кафедра социально-экономической географии и природопользования, Тюменский Государственный Университет

*Продолжение. Начало в №3, 2011г.

Assessment of impact of product life cycle on environment is based on the data concerning input and output streams of matter and energy on various stages of product life cycle.

Оценка воздействия жизненного цикла (ОВЖЦ) – это стадия оценки жизненного цикла (ОЖЦ), направленная на определение и оценку величины и значимости возможных воздействий на окружающую среду на всем протяжении жизненного цикла продукции (ГОСТ Р ИСО 14044-2007, п.3.4). ОВЖЦ базируется на данных инвентаризационного анализа жизненного цикла (ИАЖЦ), то есть на данных о входных и выходных потоках материи и энергии на различных этапах жизненного пути продукции.

где:

K – коэффициент экологической ограниченности;

KB – Критический уровень воздействия;

ΦB – Фактический уровень воздействия.

Достоинствами данного метода являются простота и доступность, агрегация суммарного воздействия жизненного цикла на среду до одного числа. В то же время, очень сложным и спорным является определение критического уровня воздействия. Также методу экологической ограниченности присущи все недостатки ме-

тодик, ориентированных на экологические нормативы: зависимость от политических решений, ограниченное количество учитываемых факторов воздействия и пр. Особо отметим, что используемые в расчетах показатели фактического и критического уровней воздействий на ОС имеют территориальную привязку – показатели, рассчитанные для Швейцарии, нерепрезентативны для других стран и регионов. Однако в странах, где эти величины определены (наряду со Швейцарией, это Нидерланды, Норвегия, Швеция, Бельгия), данный метод широко распространен.

5. Концепция токсических эквивалентов была разработана В. Геблером применительно к оценке воздействия на ОС со стороны полигонов бытовых отходов и мусоросжигательных заводов, однако она применима и для ОЖЦ продукции (Gebler, 1990). Данная методика основывается на оценке токсичности выходных потоков рассматриваемой системы для живых организмов.

Степень токсичности ЗВ определяется по четырем параметрам: степень ядовитости веществ для наземных и водных организмов (летальных доз), наличие канцерогенных и мутагенных свойств. При дальнейших расчетах используется наиболее строгий параметр, то есть берется минимальное количество ЗВ, вызывающее один из названных неблагоприятных эффектов. Дополнительно оцениваются способность ЗВ накапливаться в живых организмах и их персистентность в воздухе и почвах. Итоговые факторы токсичности, индивидуальные для каждого ЗВ, рассчитываются по формуле (3) и измеряются в килограммах потенциально повреждаемой биомассы на миллиграмм ЗВ. Отметим, что основные сложности при оценке токсичности ЗВ заключаются в необходимости учитывать различные пути поступления ЗВ в организм (оральный, кожный, респираторный), различные пороговые концентрации воздействия у разных живых организмов (микроорганизмов, рыб, млекопитающих и пр.). Автором методики проводится усреднение данных, что обосновывается необходимостью определения порядка искомых величин, а не точных значений.

$$T_i = \frac{1}{T_{xi}} \times KBA_i \times КП_i \quad (3)$$

где:
 T – коэффициент токсичности;
 T_x – пороговое количество ЗВ, вызывающее отравление, канцерогенный или мутагенный эффект;
 KBA – коэффициент биоаккумуляции;
 $КП$ – коэффициент персистентности.

Наряду с факторами токсичности методика учитывает вклад ЗВ в возникновение парникового эффекта через потенциал глобального потепления. Таким образом, оценка в данной методике проводится по двум показателям (независимо друг от друга).

Представленная В. Геблером методика объективно через научно обоснованные факторы экотоксичности отображает потенциальное негативное влияние загрязнений на живые организмы, позволяет учесть вред, наносимый ЗВ, присутствующими в выбросах и сбросах в следовых количествах. В то же время методика имеет много недостатков. Во-первых, ею не принимаются во внимание экологические проблемы, не связанные напрямую с воздействием на живые организмы. Во-вторых, расчет факторов экотоксичности требует проведения специальных исследований и значительных финансовых средств. Однако если учесть, что адекватная оценка экотоксичности – это слабое звено большинства других методик, данный подход может рекомендоваться как минимум для использования в комбинации с другим методом ОВЖЦ.

6. VNCI-метод (ISCM-метод) был предложен в 1991 г. Нидерландским союзом химической

индустрии (Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie) в качестве инструмента разработки решений по улучшению экологических аспектов продукции и сравнения продукции. Также данный метод известен как «методика интегрированного управления потоками материи» (Integrated Substance Chain Management).

Важной особенностью использования данного метода является необходимость еще на стадии ИАЖЦ проработать два сценария оценки – базовый и оптимистичный. Однако расчеты на этапе ОВЖЦ производятся не по абсолютным значениям каждого из сценариев, а по их разности (с учетом знака плюс или минус).

Классификация воздействий на ОС производится по следующим категориям: разрушение озонового слоя, парниковый эффект, закисление, эвтрофикация среды, образование фотооксидантов, токсическое воздействие на человека, образование отходов, потребление ресурсов, нарушения (шум, неприятные запахи, несчастные случаи). На этапе характеристики данные ИАЖЦ преобразуются с использованием коэффициентов, отражающих потенциал негативного воздействия различных ЗВ на ОС (например, CO_2 -эквивалентов). Сумма множителей по отношению к суммарной антропогенной нагрузке на территории Нидерландов позволяет определить индекс воздействия по каждой из 9 категорий (формула (4)) (Pick et al., 1999).

$$IB_j = \frac{\sum_{i=1}^n PC_i \times ПВ_{ij}}{CB_j} \times 10^6 \quad (4)$$

где:
 IB – индекс воздействия;

РС – разность сценариев;

ПВ – потенциальное воздействие;

СВ – совокупное воздействие в пределах Нидерландов.

В дальнейшем проводятся не-обязательные процедуры ОВЖЦ. Сначала каждой категории воздействия присваивается весовой коэффициент от 1 до 10 (процедура взвешивания). Затем сумма показателей по всем категориям нормируется на число категорий – девять (процедура нормализации). Нормализованные весовые коэффициенты, умноженные на соответствующие индексы воздействия, представляют итоговую оценку категорий воздействия, а их сумма в зависимости от знака (плюс или минус) указывает на предпочтительность того или иного сценария.

Преимуществами данной методики являются прозрачность расчетов, агрегация результатов до одного числа, большое количество оцениваемых категорий воздействия. Немаловажно, что при характеристике воздействий на ОС применяются общепризнанные научно обоснованные коэффициенты. Основными недостатками являются высокая трудоемкость и узкая область применения (оценка конкретных решений по разработке продукции).

7. EPS-метод, то есть метод экологически приоритетных стратегий (Environmental Priority Strategies Method) разработан в 1992 г. шведским НИИ окружающей среды (Swedish Environmental Research Institute) при участии ряда промышленных предприятий для целей оптимизации продукции. Основой метода являются монетарные величины (готовность платить за предотвращение вы-



бросов, издержки на предотвращение экологического ущерба и др.).

Данной методикой рассматриваются пять категорий воздействия: биоразнообразие, здоровье человека, потребление ресурсов, сельскохозяйственное производство и эстетическая ценность экосистемы (Steen et al., 1992). На первом этапе ОВЖЦ производится привязка выбросов ЗВ и потребления ресурсов к названным категориям. Затем по каждой из них определяются количественные показатели воздействия жизненного цикла продукции (например, по категории «здоровье человека» через заболеваемость и смертность населения).

В дальнейшем оценки переводятся в монетарные показатели. Так, абиотические и сельскохозяйственные ресурсы оцениваются по рыночным ценам на товар-заменители, биоразнообразие, воздействие на здоровье человека и облик ландшафта – по готовности общества платить за снижение или предотвращение

негативных воздействий. Наряду с монетарными показателями при ОВЖЦ принимаются во внимание такие факторы, как мировые запасы сырья в расчете на человека, интенсивность, продолжительность экологических воздействий, реципиентные регионы или популяции, доля эмиссий, связанных с объектом исследования, от общемирового уровня. Получаемые в итоге «ресурсные индексы» и «индексы эмиссий» перемножаются, а также корректируются коэффициентами, отражающими ранг применяемых категорий воздействия, в результате чего все параметры могут быть обобщены до одного числа. Единицей измерения воздействия является ELU (European Load Unit), приравненная к 1 евро.

Как видим, на всех этапах применения EPS-метода требуются достаточно сложные расчеты, особенно при определении ценности объектов ОС. Также данную методику справедливо критикуют за субъективизм, ведь экономическая оценка природных объектов и их ценности во многом опирает-

ся на допущения и предпочтения. Из-за своей сложности EPS-метод не нашел международного признания и практически не применяется за пределами Скандинавии.

8. Tellus-метод. Еще одна методика ОВЖЦ, базирующаяся на монетарных показателях, разработана в 1992 г. американским Институтом ресурсов и экологических стратегий (Tellus Institute of Resource and Environmental Strategies, Бостон) для целей оценки упаковочных материалов (Tellus..., 1992).

Согласно данному подходу

ОВЖЦ проводится посредством ранжирования выбросов ЗВ, влияющих на здоровье и безопасность человека, по величине экономических издержек на их предупреждение. К таким издержкам относят расходы на технические и технологические мероприятия, а также на мероприятия организационного характера (экомониторинг и пр.), проведение которых требуется законодательством. Базовой величиной оценки служат расходы на предотвращение выбросов одного американского фунта (0,453 кг) свинца, состав-

ляющие 1600 \$. Соответствующие расходы для других поллютантов определялись посредством экстраполяции, учитывающей степень их опасности в сравнении со свинцом (например, для кадмия, токсичность которого втрое превышает токсичность свинца, расходы предотвращения оцениваются в 4800 \$).

Применение Tellus-метода на практике легко осуществимо. Совокупная оценка упаковочных материалов выражается одним числом, что позволяет делать выводы о предпочтительности отдельных из них. В то же время у данного метода достаточно много недостатков. Во-первых, поскольку данный метод фокусируется на возможностях предотвращения ущерба, собственно воздействия на ОС учитываются лишь косвенно. Во-вторых, круг рассматриваемых экологических проблем узок. В-третьих, лежащие в основе расчетов стоимости предотвращения ущерба широко варьируются в зависимости от технических особенностей и других факторов (авторы методики использовали средние значения). Но основной проблемой Tellus-метода является подход к взвешиванию – оценка стоимости предотвращения выбросов различных ЗВ не по фактическим данным, а через сравнение со свинцом.

9. CML-метод предложен голландским Центром исследования окружающей среды (Centrum voor Milieukunde, CML) при Лейденском университете в 1992 г. В данном подходе основной упор делается на оценку потенциального воздействия инвентаризованных потоков материи и энергии на ОС (Heijungs et. al., 1992).

Таблица 2. Характеристические коэффициенты в соответствии с CML-методом

Категория воздействия	Характеристические коэффициенты
Потребление абиотических ресурсов	1 / запасы ресурсов
Потребление биотических ресурсов	Фактор биотического истощения (Biotic Depletion Factor)
Парниковый эффект	Потенциал глобального потепления (Global Warming Potential)
Разрушение озонового слоя	Потенциал истощения озонового слоя (Ozone Depletion Potential)
Токсичность для человека	Характеристический коэффициент токсичности для человека для воздушной, водной сред и почв (Human Toxicological Classification Factor for Atmosphere, Water, Soil)
Токсичность для водных экосистем	Характеристический экологический коэффициент для водных/наземных экосистем (Ecological Classification Factor for Aquatic/Terrestrial Ecosystems)
Токсичность для наземных экосистем	
Образование фотооксидантов	Фотохимический потенциал образования озона (Photochemical Ozone Creation Potential)
Закисление	Потенциал образования кислот (Acidification Potential)
Евтрофикация	Потенциал нитрификации (Nitrification Potential)
Выбросы тепловой энергии	1
Появление запахов	1 / Порог восприятия запаха (Odor Threshold Value)
Шумовое загрязнение	1
Нанесение ущерба ОС (ландшафтам и экосистемам)	1
Человеческие жертвы	1

ОВЖЦ начинается с выбора релевантных категорий воздействия и привязки данных ИАЖЦ к выбранным категориям с использованием специальных таблиц и предписаний. Для целей последующей характеристики воздействий применяется система показателей, отражающих вклад того или иного вещества в появление воздействия на ОС определенного типа (табл. 2). Суммирование данных инвентаризации, помноженных на соответствующие характеристические показатели, позволяет описать воздействие на ОС по каждой категории одним индексом. Следующей стадией ОВЖЦ в соответствии с CML-методом является нормализация – преобразование абсолютных значений показателей в относительные делением на совокупную величину воздействия по определенной категории в целом по Земному шару.

На завершающем этапе оценки в рамках CML-метода необходимо выполнить взвешивание категорий воздействия. Для этой цели, как правило, используется один из следующих подходов (Stahl, 1999):

- NSAEL-метод (No significant adverse effect level)

– оценка воздействия на ОС определяется с учетом уровней фактического и максимально допустимого воздействия в пределах определенной категории.

- MET-метод (Material use, Energy use, Toxic emissions) – оценка воздействия на ОС производится в зависимости от приоритетов официально утвержденного Плана государственной экологической политики Нидерландов.

Также допустимо использование экспертных оценок. Последние, хотя и добавляют в процесс оценивания значительную долю субъективизма, однако позволяют рассмотреть различные точки зрения. В зависимости от выбранного подхода результирующие весовые коэффициенты существенно разнятся (табл. 3).

Этот метод заслужил всеобщее признание в Европе. К его достоинствам относят большое количество учитываемых экологических воздействий, прозрачность и научную обоснованность процесса распределения ЗВ по категориям воздействия и их характеристики. Особо следует выделить, что характеристические коэффициенты устанавливаются с точки зрения полицентрического



подхода (с учетом влияния на все живые организмы и экосистемы в целом). В то же время отметим, что определение характеристических коэффициентов является довольно сложным и затратным процессом, поэтому такие коэффициенты известны для ограниченного круга хорошо изученных ЗВ.

При использовании CML-метода процедура взвешивания применяется дважды – по отношению к ЗВ, упорядоченным по категориям воздействия, и по отношению к самим категориям воздействия. Причем, если в первом случае критерии взвешивания установлены на основе естественнонаучных данных, во втором случае они базируются на выбранных предпочтениях, что делает такое взвешивание субъективным. Помимо этого, специалистами отмечается неудачный выбор базового значения нормализации (глобального воздействия на ОС) в связи со сложностью точного и достоверного определения данного значения.

(продолжение следует)

Таблица 3. Весовые коэффициенты категорий воздействия, применяемые в рамках CML-метода

Категория воздействия	NSAEL-метод	MET-метод
Разрушение озонового слоя	20	38,0
Парниковый эффект	7	5,1
Образование фотооксидантов	-	11,4
Закисление	47	9,3
Токсичность для человека	5	15,2
Эвтрофикация	21	15,8
Потребление абиотических ресурсов	-	5,2
Сумма	100	100