

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКОСИСТЕМЫ В РАКУРСЕ КИОТСКОГО ПРОТОКОЛА

А.Ю. Гайдусь

(Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства им. П. Василенко)

*На основе положений Киотского протокола и законодательства Украины по проблемам охраны окружающей среды, сформулирована концептуальная модель основной оптимизационной задачи и проведена характеристика ее особенностей, что позволило указать пути ее эффективных конкретных реализаций. Это дает возможность перейти к созданию комплекса моделей и программ для автоматизации исследований в этой области и получению рациональных проектных решений.*

***Киотский протокол, экологическая система, окружающая среда, основная оптимизационная задача***

**Постановка проблемы.** Увеличение выбросов вредных химических веществ действующими промышленными предприятиями, загрязняющими окружающую среду, приводит к нарушению экологического равновесия, что весьма заметно в связи с изменением климата планеты. В связи с этим разрабатываются и претворяются в жизнь многочисленные международные программы, протоколы, договоры, соглашения [1 – 3]. Примером этому является Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата, принятая в Нью-Йорке 9 мая 1992 года. Затем был разработан, и принят к исполнению многими государствами, Киотский протокол к Рамочной конвенции ООН об изменении климата [1].

В ракурсе постановок задач, рассматриваемых в данной работе, особо следует отметить статьи 2, 3 и 6 Киотского протокола [1]. Так в статьях 2 и 3 регламентируются основные требования и рекомендации странам, участникам Киотского протокола. К таким рекомендациям относятся: ***ограничение*** выбросов вредных веществ; ***сокращение*** выбросов вредных веществ; ***перераспределение*** выбросов вредных веществ.

Кроме того, с точки зрения рассматриваемых в настоящей работе задач, особое значение имеет статья 3 Киотского протокола. В этой статье указывается процедура перераспределения выбросов вредных веществ между сторонами, подписавшими Киотский протокол. Так, в пунктах 10 – 14 статьи 3 этого протокола рекомендуется:

- **сокращения выбросов** вредных веществ, которые приобретаются какой-либо стороной у другой стороны, **прибавляются** к установленному количеству приобретающей стороны;
- **передаваемая** одной стороной **часть выбросов** вредных веществ **вычитается** из установленного ей ранее количества выбросов;
- **неиспользованные права на выбросы** вредных веществ в какой-то период одной из сторон могут **переноситься** на другой период времени этой же стороне;
- **неиспользованные права на выбросы** вредных веществ в какой-то период одной из сторон **могут передаваться** (продаваться) другой стороне (пункт 1 статьи 6 Киотского протокола).

Эти требования и рекомендации необходимо учитывать и реализовывать не только в отношениях между государствами, но и на уровне отдельной страны, региона, области или отдельной компании с несколькими промышленными предприятиями.

Положения Киотского протокола активно реализуются в странах с развитой рыночной экономикой (США, Япония, ФРГ и др.), безусловно с учетом их особенностей и специфики экономики, местного законодательства, географического положения, особенностей природопользования и др. Это привело к появлению в ряде государств **экологических банков**, осуществляющих **куплю – продажу** излишков неиспользованных или приобретенных ранее прав на выбросы вредных веществ [3].

Отметим, что в феврале 2005 года Украина ратифицировала Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата [1]. При этом согласно предписаниям Конституции Украины (статья 9), действующие международные договоры, согласие на обязательность выполнения которых дала Верховная Рада Украины, являются неотъемлемой частью законодательства Украины. Поэтому все отмеченные ранее требования и рекомендации Киотского протокола относятся в равной степени и к Украине [1, 2].

**Анализ публикаций.** Вопросы математического моделирования экологических систем исследовались в монографиях [4 – 5]. Постановка задач оптимизации интенсивностей источников промышленных выбросов вредных веществ рассматривалась в работах [4, гл. 6], [6, гл. 1]. Однако, в этих работах ставились задачи планирования полных выбросов для каждого предприятия. Постановка же задачи оптимизации дополнительных выбросов, связанных с приобретением прав на сверх выбросы, – не рассматривалась.

**1. Концептуальная постановка основной оптимизационной задачи (ООЗ) в ракурсе Киотского протокола [1].** *На нашей планете расположены государства, на территории которых функционируют*

*промышленные и другие предприятия, выбрасывающие в окружающую среду вредные химические вещества, согласно приобретенным участниками Киотского протокола (или запланированным) правам на выбросы. При этом источниками загрязнения окружающей среды выступают «суммарные выбросы дымовых труб» (или иные источники) каждого государства. Не исключается ситуация, когда некоторые государства не полностью используют свои права на выбросы вредных химических веществ. В связи с этим возникает возможность перераспределения (купли – продажи) прав на выбросы вредных химических веществ между государствами и передачи (трансферте) этих прав на выбросы другим странам при удовлетворении заранее заданным ограничениям на уровень загрязнения глобальной экологии Земли.*

Постановка ООЗ для отдельного государства, области или региона состоит в следующем. В заданном регионе функционирует несколько промышленных предприятий, выбрасывающих в окружающую среду вредные химические вещества, согласно приобретенным (или запланированным) правам на выбросы. Однако, не исключается ситуация, когда некоторые предприятия не полностью используют эти права. В связи с этим возникает задача оптимизации перераспределения и передачи (трансферте) прав на выбросы другим предприятиям при удовлетворении заранее заданным ограничениям на уровень загрязнения окружающей среды в экологически значимых подобластях региона или в контролируемых точках региона.

При этом, естественно, предприятие, получившее право на дополнительные выбросы, имеет возможность на сверхнормативные выбросы, что позволяет увеличить объем выпускаемой продукции и, естественно – прибыль. В связи с этим для таких подсистем, как отдельное предприятие, компания, конкурирующие компании, регион (область или штат) стоят свои цели. Например, для руководителя отдельного предприятия, президента компании и конкурирующих компаний – максимизация прибыли, для губернатора – максимизация отчислений в бюджет с целью поддержания и восстановления здоровья людей, восстановления всех компонентов окружающей среды, поддержания биоресурсов на заданном уровне.

Такая постановка ООЗ диктуется активизацией рыночных отношений в индустриально развитых странах таких, например, как США, Япония, ФРГ и др. [3]. Эти вопросы становятся все более актуальными и для Украины.

Рассмотрим постановку и исследование особенностей концептуальной модели ООЗ для случая назначения предприятиям дополнительных выбросов с учетом ограничений на результирующее поле загрязнения экологически значимого региона.

Задача оптимизации выбросов промышленных предприятий состоит в следующем. Задан регион  $\Omega$ , в котором функционируют  $n$  промышленных предприятий и выбрасывают в окружающую среду с интенсивностью  $F_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) однородные вредные вещества. Известна [4] формулировка соответствующей краевой задачи, описывающей процесс  $\varphi(x, y, z, t)$  распространения в регионе  $\Omega$  выбросов предприятий. Определен экологически значимый регион  $G \subseteq \Omega$ , суммарное загрязнение которого не должно превысить санитарно допустимый уровень  $\varphi^*$  (или значений поля загрязнения в контролируемых точках региона  $G$ ). При этом задан вектор дополнительных выбросов

$$\Delta F = (\Delta F_1, \Delta F_2, \dots, \Delta F_g, \dots, \Delta F_m), \quad (1)$$

где  $\Delta F_g$  ( $g = \overline{1, m}$ ) – дополнительные выбросы, права на которые приобретены [1, 3], или имеется разрешение экологического департамента. Число компонентов  $m$  вектора по отношению к числу  $n$  предприятий может быть следующим:  $m = n$ ;  $m < n$ ;  $m > n$ . Кроме того, предполагается, что одному предприятию назначается только один дополнительный выброс, т.е. одна компонента вектора  $\Delta F = (\Delta F_1, \Delta F_2, \dots, \Delta F_g, \dots, \Delta F_m)$ .

Необходимо каждому предприятию определить (назначить) такой дополнительный выброс  $\Delta F_g$  ( $g = \overline{1, m}$ ) вредных веществ, чтобы суммарное загрязнение контролируемого региона от функционирования  $n$  промышленных предприятий не превысило санитарные нормы. При этом необходимо сообщить некоторой функции цели (функционалу)  $\Phi$  экстремальное значение. В качестве  $\Phi$ , например, могут выступать суммарная прибыль предприятий компании.

**2. Концептуальная модель основной оптимизационной задачи.** Рассмотрим вначале случай  $m = n$ . Пусть  $i$ -му предприятию (на  $i$ -ое место) назначается  $j$ -ая дополнительная компонента, т. е.  $\Delta F_{i_j}$ , или для краткости  $i_j$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ). Последнее образует вспомогательную матрицу размером  $n \times n$   $[\Delta F_{i_j}]$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ). Однако, в силу оговорки в содержательной постановке задачи (одному предприятию назначается только один дополнительный выброс), необходимо удовлетворить следующему ограничению

$$i_k \neq i_p \quad \forall k \neq p \quad (k, p = \overline{1, n}). \quad (2)$$

Множество  $P^*$  допустимых перестановок имеет мощность  $n!$  и состоит из перестановок  $\{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n!}\}$ .

Кроме того, необходимо удовлетворить ограничениям на уровень загрязнения экологически значимого региона

$$\varphi(\pi) \leq \varphi^*, \quad (3)$$

где  $\pi \in P^*$ ;  $\varphi(\pi)$  – решение краевой задачи, описывающей процесс распространения загрязняющих веществ;  $\varphi^*$  – заданное санитарно допустимое значение поля загрязнения экологически значимого региона.

Соответствующая краевая задача должна решаться с учетом назначения дополнительных выбросов, то есть интенсивности источников в этом случае принимают значения  $F_i + \Delta F_{i_j}$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ) и при этом должны выполняться ограничения (2).

Тогда оптимизационная задача назначения предприятиям дополнительных выбросов сводится к поиску

$$\Phi(\pi^*) = \text{extr}_{\pi \in P^*} \Phi(\pi); \quad (4)$$

$$\pi^* = \text{arg extr}_{\pi \in P^*} \Phi(\pi), \quad (5)$$

где  $\pi^*$  – оптимальная перестановка, а решением задачи (4) – (5) будет пара  $\langle \pi^*, \Phi(\pi^*) \rangle$ .

Если  $n > m$ , то  $P^*$  состоит из элементов множества размещений. Для  $n < m$   $P^*$  состоит из элементов множества сочетаний. Постановка оптимизационных задач для этих случаев аналогична задаче (4) – (5).

### **Анализ особенностей концептуальной модели основной оптимизационной задачи.**

1. Группа работающих предприятий, размещенных в заданном регионе, представляет собой сложный территориально распределенный объект. Процесс загрязнения окружающей среды происходит от выбросов вредных химических веществ из труб действующих предприятий.

2. Процесс распространения вредных химических веществ происходит в пространстве (в общем случае трехмерном) и во времени. Динамика распространения вредных химических веществ в общем случае описывается многомерными, нелинейными, нестационарными краевыми задачами.

3. Нелинейность описания процессов распространения вредных химических веществ, в общем случае связана с неоднородностью поверхности земли, розой ветров данного региона, неоднородностью характеристик атмосферы в регионе и т.п.

4. Целью решения ООЗ является поиск значений интенсивностей источников выбросов вредных химических веществ, осуществляемых группой промышленных предприятий.

5. Ограничениями являются не превышение выбросами вредных химических веществ заданного уровня загрязнения экосистемы в контролируемых точках или в подобластях региона.

6. Размерность исследуемой ООЗ определяется числом предприятий. Число локальных экстремумов оценивается, как  $O(n!)$ .

7. В предположении, что количество произведенной предприятиями продукции прямо пропорционально количеству выбрасываемых в окружающую среду вредных веществ, в общем случае критерием поиска рационального решения ООЗ является максимизация прибыли от реализации продукции, произведенной предприятиями.

**Пути и задачи реализации основной оптимизационной задачи.** Решение ООЗ необходимо получать в реальном масштабе времени, а иногда с запасом на время, необходимое для принятия решения по обеспечению экологического равновесия или недопущения наиболее тяжелой ситуации – экологической катастрофы.

Методы решения ООЗ должны обеспечивать точность, согласованную с точностью задания исходных данных. Комплекс моделей и методов для различных реализаций ООЗ должен иметь открытую иерархическую структуру, позволяющий учитывать как можно большее число различных интерпретаций ограничений и функций цели.

Необходима разработка комплекса программ, позволяющего осуществить автоматизацию процесса решения ООЗ и ее частных реализаций. Кроме того, необходимо предусмотреть возможность интерактивного взаимодействия лица принимающего решение с программным комплексом, подсистемой осуществления мониторинга состояния окружающей среды и подсистемой прогнозирования динамики экосистемы.

Учитывая то, что в общем случае процесс распространения выбросов промышленных предприятий описывается многомерными, нелинейными, нестационарными краевыми задачами, то для сокращения временных затрат на решение ООЗ, целесообразно рассмотреть возможности применения аппаратной реализации соответствующих математических моделей.

**Выводы.** 1. Законодательство регламентирует права, обязанности и меру ответственности за нарушение положений законодательства по проблемам экологии, которыми обязательно необходимо пользоваться при разработке конкретных методик их практической (технической) реализации.

2. Законодательство не дает конструктивных механизмов устранения, недопущения и эффективных путей профилактики ситуаций, приводящих к нарушению положений законодательства по проблемам экологии.

3. Целесообразным является разработка конструктивных механизмов недопущения экологических аварий и катастроф, связанных с неуправляемым загрязнением окружающей среды выбросами промышленных источников загрязнения.

4. На основе анализа научных исследований в рассматриваемой области, сделан вывод о том, что наиболее эффективным является путь разработки, исследования особенностей и реализации математических моделей и методов для оптимизации интенсивности источников выбросов промышленных предприятий с целью недопущения экологических аварий и катастроф. Это позволит создать комплекс программ для автоматизации проведения исследований в этой области и получения рациональных проектных решений за приемлемое время (в реальном масштабе времени).

5. На основе положений Киотского протокола и законодательства Украины по проблемам охраны окружающей среды [1, 2], сформулирована концептуальная модель основной оптимизационной задачи и проведена характеристика ее особенностей, что позволило указать пути ее эффективных конкретных реализаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата.* – 1995. – 15 с.
2. *Закон України «Про охорону атмосферного повітря» (в редакції № 2556 – 111 (2556 – 14) від 21.06.2001.* – "Урядовий Кур'єр". – № 174.
3. *Шубина А.В., Конов Ю.П., Лопатин В.Н. Экологические основы изобретательства.* – М.: НПО Поиск, 1992. – 47 с.
4. *Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды.* – М.: Наука, 1982. – 320 с.
5. *Марчук Г.И., Кондратьев К.Я. Приоритеты глобальной экологии.* – М.: Наука, 1992. – 264 с.
6. *Стоян Ю. Г., Путятин В. П. Оптимизация технических систем с источниками физических полей.* – К.: Наук. думка, 1988. – 192 с.

Поступила 12.03.2005

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор И.А. Фурман,  
Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства им. П. Василенко.