УДК 502.13 (075.80)

В.Н.СИБИРЕВ, *канд. техн. наук, доцент, VNSibirev@ya.ru*
Н.В.РАЧЕВА, *старший преподаватель, NVRacheva@ya.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.N.SIBIREV, *PhD in eng. sc., associate professor, VNSibirev@ya.ru*
N.V.RACHEVA, *senior lecturer, NVRacheva@ya.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Развитое цивилизованное общество предполагает расширение хозяйственной деятельности и создание новых ее видов. Территории, отводимые под существующие и вновь проектируемые объекты, требуют всесторонней оценки, чтобы сохранить комфортную среду существования. Математические модели на базе компьютерных технологий позволяют сформировать прогнозную оценку экологической ситуации территориальных комплексов.

***Ключевые слова*:** вредные вещества, методика, хозяйственная деятельность, алгоритмы, система поддержки принятия решения, математические модели, целевая функция, интерактивная среда.

AN APPROACH TO THE ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF TERRITORIAL COMPLEXES

In the developed and civilized society economic activities constantly expand and evolve. Territories reserved for ongoing or planned activities require a comprehensive assessment to keep the environment sustainable. Mathematical models based on computer technologies allow us to conduct a forecast assessment of the territorial complexes environment.

***Key words*:** hazardous substances, methodology, economic activities, algorithms, decision support system, mathematical models, objective function, interactive environment media.

Возможность использования компьютерных технологий при разработке методик экологической оценки территориальных комплексов (ТК), учитывающих затраты на возможные изменения окружающей среды обитания, определила перспективность совершенствования математического моделирования по распространению загрязняющих веществ (ЗВ), образующихся в результате хозяйственной деятельности.

Методика оценки распределения ЗВ с целью обеспечения условии сохранения экологической безопасности предполагает решение следующих задач:

- формирование эффективной и сбалансированной хозяйственной деятельности (ХД) с учетом экологической безопасности ТК;
- обоснование затрат на сохранение экологического равновесия окружающей среды от воздействия ХД;
- создание математических моделей формирования вариантов оценки экологической ситуации ТК;
- разработка алгоритмов формирования вариантов оценки экологической ситуации ТК в результате ХД и набора программных средств для автоматизированного формирования вариантов экологической ситуации ТК;
- обоснование структуры интерактивной среды для поддержания процесса формирования вариантов экологической ситуации ТК.

Рассмотрим постановку задачи оценки экологической ситуации. Допустим, что пери-

од загрязнения $\widetilde{T} \in \{1,2,...T\}$ состоит из T интервалов. Имеется множество замеров ЗВ $R = \{R_1(t), ..., R_M(t)\}$, где $R_k(t)$, $k = 1, ..., M$ – объем (количество) k-го типа ЗВ в t-м интервале периода загрязнения. В процессе изменения степени загрязнений территории комплекса на количественное распространение объемов ЗВ накладываются ограничения $\overline{R}_k(t) \le R_k(t) \le \overline{\overline{R}}_k(t)$, а на подмножество выделенных ЗВ $P \subset R$ устанавливается суммарное ограничение.

Пусть набор замеров ЗВ задан множеством $Z = \{Z_1, ..., Z_N\}$, где каждый замер Z_i, характеризуется набором характеристик $Z_{ij}, j \in J$. При этом определены τ_i – длительность воздействия ЗВ, измеряемая числом интервалов из $\widetilde{T}$; V_i^k – объем ЗВ по k-му виду ЗВ. При воздействии i-го типа ЗВ в периоде загрязнения $\widetilde{T}$ происходит накопление ЗВ в количествах $r_i(t) = (r_i^1(t), ..., r_i^M(t))$, где $r_i^k(t)$ определены для $t = 1, 2, ..., \tau_i$.

Распространение ЗВ должно быть близким к равномерному показателю, т.е. рекомендуется учесть присутствие естественной динамики компонентов окружающей среды (ОС). Для этого следует ввести гибкое распределение ЗВ с учетом нормативных ограничений на выбросы и сбросы в результате хозяйственной деятельности. На основе анализа сетевых моделей распространения ЗВ предполагается установить нормативные пределы $d_i^k(t)$ и $D_i^k(t)$, $t = 1, 2, ..., \tau_i$ на загрязнение ТК каждым Z_i:

$$d_i^k(t) \le r_i^k(t) \le D_i^k(t); \ \sum_{t=1}^{\tau_i} r_i^k(t) = V_i^k, \ \forall i,k.$$

Пусть задано G ограничений на варианты кортежей (наборов) ЗВ, включающие суммарные объемы нормативных ограничений, ограничения на сроки предполагаемого производства, директивные временные сроки воздействия ЗВ. Тогда в данной постановке набор ЗВ можно представить как кортеж

$$\langle R^*, Z^*, \pi^* \rangle,$$

где $R^* = \{(R_1^*(t), ..., R_M^*(t)), t \in \widetilde{T}\}$ – объемы ЗВ, поступающие в ОС; $Z^* \subset Z$ – множество отобранных ЗВ по принципу опасности для ОС; $\pi^* = (t_1^*, ..., t_N^*)$ – сроки начала сброса (выброса) отобранных ЗВ.

На лицо, формирующее решение, (ЛФР) накладывается ответственность по подготовке наиболее приемлемых вариантов кортежей ЗВ. Выбор окончательного (единственного) приемлемого кортежа ЗВ выполняет руководитель – лицо, принимающее решение, (ЛПР), несущее ответственность за принятое решение.

Варианты кортежей (наборов) ЗВ разрабатываются ЛФР, ответственным за своевременную приемлемую (с точки зрения производства и сохранения экологической безопасности ТК) подготовку и обоснование множества вариантов оценки возможной экологической ситуации S.

Кортеж ЗВ $\langle R^*, Z^*, \pi^* \rangle$, формируемый в интерактивном режиме должен удовлетворять следующим требованиям:

- быть согласованным с принципом оптимальности ЛФР, т.е. удовлетворять запросам ЛФР;
- удовлетворять ограничениям из множества G;
- иметь допустимый режим накопления ЗВ в ОС.

Формирование кортежа ЗВ в рассматриваемой постановке относится к классу задач целенаправленного построения допустимых вариантов кортежей при варьируемой структуре ограничений на объемы сбросов (выбросов) ЗВ и решается с использованием моделей и алгоритмов в интерактивном режиме. Построение кортежа ЗВ предполагает решение следующих задач:

- определение вариантов кортежей на заданный временной период;
- определение сроков начала поступления ЗВ в ОС и окончания процесса накопления ЗВ в ОС;
- определение допустимых объемов ЗВ с точки зрения сохранения экологической безопасности окружающей среды;

• определение допустимых объемов ЗВ, выделяемых в ОС.

Приведенные задачи находятся во взаимной зависимости. Выбросы (сбросы) на конкретной территории не должны превышать допустимых объемов ЗВ. Включение ЗВ в кортеж зависит от сроков его воздействия на ОС. Рассмотрим случай, когда распространение ЗВ позволяет установить произвольный порядок решения задач и использование результатов, полученных на предыдущих этапах.

Алгоритмы, использующие порядковую информацию, – это списковый алгоритм (СА) и алгоритм последовательного распределения объемов ЗВ по фронту распространения ЗВ (ФА)*.

Постановка задачи для построения наиболее предпочтительного кортежа объемов ЗВ может быть представлена в следующей формулировке. Пусть имеется N кортежей, пронумерованных от 1 до N. Задан интервал интенсивных поступлений ЗВ в ОС (период накопления) $\widetilde{T} = [t_0, t_T]$, который делится на интервалы $\Delta_1 = [t_0, t_1]$, $\Delta_2 = [t_1, t_2]$, …, $\Delta_T = [t_{T-1}, t_T]$ так, что $\Delta_l = \Delta_i$, $l = 2, \ldots, T$.

Предполагается, что кортеж ЗВ может начинаться в моменты времени t_l, $l = 0, \ldots, T$, а их длительности τ_l есть целые числа. При формировании кортежей ЗВ используются $K + L$ видов загрязнений. Первые K видов ЗВ являются вредными веществами (ВВ), относящимися к категории наиболее опасных, остальные L считаем относительно безопасными. Обозначим V_{ik}, $k = 1, \ldots, K + L$ – объемы выбросов (сбросов) ЗВ кортежа i; $r_{ik}(t)$ – нормативные ограничения по интервалам; $d_{ik}(t)$, $D_{ik}(t)$ – нижние и верхние границы по интервалам.

Под кортежем π будем понимать последовательность размерности N из целых чисел t_i, $\pi = (t_1, t_2, \ldots, t_N)$, где t_i – срок начала поступления ЗВ типа i; при $0 \le t_i \le T - \tau_l$, если $\tau_l = T$, данный тип ЗВ не включен в кортеж.

Накопление объемов ЗВ в соответствии с кортежем π при жестком задании допустимости по нормативам определяется функцией

$$r_{ik}(t \mid t_i) = r_{ik}(t - t_i),$$

если $t_i + 1 \le t \le t_i + \tau$, а при гибком задании удовлетворяет условиям

$$d_{ik}(t - t_i) \le r_{ik}(t \mid t_i),\ r_{ik}(t \mid t_i) \le D_{ik}(t - t_i),$$

если $t_i + 1 \le t \le t_i + \tau_i$.

Основные условия, которым должны удовлетворять варианты накоплений ЗВ, следующие:

1) $t_i + \tau_{il} \ge t_l$, $t_{ip} \le t \le t_{in}$, $(i,l) \in E$; или $t_i = T$;

2) $\sum_{i=1}^{N} r_{ik}(t \mid t_i) \le r_{0k}(t), k = 1, \ldots, K, t = 1, \ldots, T$;

3) $\sum_{i=1}^{N} \sum_{\theta=1}^{t} r_{ik}(\theta \mid t_i) \le \sum_{i=1}^{N} r_{0k}(\theta), k = K+1, \ldots, K+L,$

$t = 1, \ldots, T$;

4) $\sum_{t}^{\tau} r_{ik}(t - t_i) = V_{ik}, i = 1, \ldots, N, k = 1, \ldots, K+L$;

5) $d_{ik}(t - t_i) < r_{ik}(t \mid t_i) < D_{ik}(t - t_i)$, $i = 1, \ldots, N$, $k = 1, \ldots, K + L$, $t = t_i + 1, \ldots, t_i + \tau_i$.

Здесь τ_{il} – временные связи между i и l, E – бинарное отношение, устанавливающее связи между кортежами ЗВ, $r_{0k}(t)$, $t = 1, \ldots, T$ – характеристика объема ЗВ.

Условия 1 задают технологические ограничения на последовательность формирования вариантов кортежей ЗВ; условия 2 накладывают ограничения на сроки начала поступления ЗВ (если не предвидится возможность выполнения этих условий, то недирективные кортежи ЗВ в вариант не включаются); условия 3 – ограничения на общее накопление объемов ЗВ; условия 4 – ограничения на выбросы (сбросы) ЗВ в ОС; условия 5 задают интенсивность поступления ЗВ в ОС. При жестком формировании кортежей эти условия выполняются автоматически.

Выделяются два основных класса задач, которые могут быть использованы для построения наиболее возможного варианта

* *Михалевич В.С.* Методы последовательной оптимизации в дискретных силовых задачах оптимального распределениея ресурсов / В.С.Михалевич, А.И.Кукса. М., 1983. 203 с.

Mikhalevich V.S., Kuksa A.I. Sequential optimization methods in solving discrete network tasks for optimal allocation of resources. Moscow, 1983. 203 p.

кортежа ЗВ. К первому классу относятся задачи построения сбалансированного кортежа по поступлению ЗВ в ОС. В этом случае множество допустимых вариантов X задается условиями 1-5. В качестве целевых функций могут использоваться аддитивные функции, соответствующие суммарному эффекту варианта.

Если объемы ЗВ, которые могут быть сформированы для варианта кортежа, определены достаточно точно, то имеем задачу построения сбалансированного по объемам ЗВ варианта. Некоторые показатели варианта могут не иметь естественных числовых шкал. Эффекты от накопления некоторых вариантов зависят от сроков их накопления. Некоторые характеристики варианта не аддитивны относительно аналогичных характеристик отдельных кортежей ЗВ. Приведенные отклонения не позволяют свести построение варианта к решению оптимизационной задачи или многокритериальной задачи с небольшим числом критериев.

Однако задача может решаться в диалоговом режиме, где на каждой итерации предлагаются варианты ЗВ и их характеристики на основе заданной информации о важности кортежа ЗВ. ЛФР предлагает изменить внешние показатели (ранг, срок накопления, коэффициент важности кортежа ЗВ) на каждой итерации таким образом, чтобы достичь наиболее предпочтительного варианта. Считается, если ЛФР исчерпал возможности улучшения варианта, то последний вариант принимается как неулучшаемый. Если окажется несколько неулучшаемых вариантов, тогда выбирается наилучший с позиции ЛПР.

Основные способы построения сбалансированных кортежей следующие:

- непосредственное построение варианта путем последовательного задания сроков начала формирования кортежа ЗВ;
- построение плана алгоритмами, использующими порядковую информацию о вариантах ЗВ;
- построение варианта кортежа ЗВ алгоритмами, использующими количественную информацию о кортежах.

При построении вариантов на основе сроков начала поступления ЗВ в ОС, указываемых ЛФР, проверяется допустимость варианта и подсчитывается ряд характеристик, представляющих интерес для ЛФР. Это применимо при сравнительно небольшом количестве вариантов. Сложности возникают из-за коррекции нескольких объемов ЗВ и сроков начала формирования многих вариантов.

Списковый алгоритм обеспечивает возможность включения ЗВ в кортеж по порядковой информации, заданной ЛФР. Для подготовки порядковой информации необходимо установить минимально допустимые сроки начала формирования каждого кортежа, в противном случае вариант вообще не рассматривается. В СА назначение срока начала формирования варианта зависит от того, как были распределены кортежи более низких рангов, т.е. вариантов, содержащих менее опасные ЗВ для ОС, и не зависят от распределения более высоких рангов, содержащих в составе более опасные ЗВ. Изменение раннего срока поступления ЗВ влияет на срок начала накопления ЗВ, имеющих более высокий уровень опасности.

Алгоритм ФА последовательно строит кортежи ЗВ, т.е. списки вариантов ЗВ, у которых сроки начала накопления могут быть едины (одинаковы). ЛФР дает информацию о порядке (очередности выборки из подготовленного ФА варианта кортежа ЗВ) возможного включения варианта в рассматриваемый перечень. В ФА условие независимости распределения вариантов более низких рангов от вариантов более высоких рангов сохраняется в пределах рассматриваемого перечня вариантов кортежей ЗВ. Изменение раннего срока начала поступления ЗВ приводит к исключению его из предыдущего перечня вариантов кортежей ЗВ и может вызвать существенное изменение срока его начала по сравнению с предыдущим перечнем вариантов кортежей ЗВ.

В задачах выбора, использующих количественную информацию, наибольшую значимость имеют алгоритмы с поиском вариантов по максимизации аддитивной целевой

функции $F(\pi) = \sum_{i=1}^{N} f_i(t_i)$; здесь следует учитывать количественную информацию по уровню опасности ЗВ. При использовании алгоритмов на основе максимизации целевой функции для улучшения условий выполнения выбранного варианта необходимо увеличить коэффициенты, соответствующие данному варианту. Но установить, на какую величину следует изменить коэффициенты, чтобы гарантировать желательные изменения, а также к каким изменениям в условиях выполнения других вариантов это приведет, достаточно сложно.

Практическая нереальность получения точных решений задач максимизации $F(\pi)$ позволяет сделать вывод о предпочтительности применения СА и ФА в итерационном процессе, допуская варьирование рангов и ранних сроков начала поступления ЗВ в ОС. Это касается, прежде всего, вопросов включения дополнительных вариантов или изменения сроков начала поступления ЗВ в ОС в предыдущем перечне вариантов кортежей ЗВ. Возможна оптимизационная постановка задачи по допустимым изменениям сроков начала поступления ЗВ в ОС. Можно поставить задачу поиска перечня вариантов ЗВ, наиболее равномерно распространяющихся в ОС.

Динамичное распределение объемов ЗВ расширяет множество допустимых вариантов и предполагает более эффективное и равномерное их накопление. Но выигрыш сводится к нулю, если конкретный объем ЗВ одновременно включается в несколько вариантов кортежей.

Алгоритмы, применяемые в интерактивных системах распространения ЗВ, позволяют строить наиболее допустимые варианты. Следовательно, все другие варианты кортежей, включающие дополнительные ЗВ и не превышающие сроки начала распространения ЗВ, либо имеющие те же кортежи, но формируемые в более ранние сроки, не являются допустимыми. Такие варианты можно назвать приемлемыми по объемам сброса (выброса) ЗВ.

В процессе формирования вариантов наибольшее внимание уделяется предполагаемым затратам (вложению средств на реализацию вариантов). При наличии современных компьютерных технологий, развитом математическом и алгоритмическом аппарате становится актуальным внедрение СПР в процесс экологической ситуации ТК в такой сложной и противоречивой области исследования как экологическая безопасность среды обитания человека.