

УДК 351.861

А.А. Неронов

Університет гражданской защиты Украины, Харьков

ПРОГНОЗ СИЛ И СРЕДСТВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрены принципы прогнозирования и оценки сил и средств на основе методов прикладного нелинейного программирования.

Ключевые слова: прогнозирование и оценка сил и средств, нелинейное программирование.

Введение

Постановка проблемы. Актуальность разработки методических основ для организации прогнозирования и оценки сил и средств, необходимых для предупреждения и ликвидации аварийных разливов вязкого углеводородного сырья, продиктована складывающейся в Украине обстановкой, связанной с участившимися случаями массового загрязнения почвы, подземных и поверхностных вод.

Анализ последних исследований и публикаций. Существенный вклад в развитие систем прогнозирования внесли зарубежные и отечественные ученые: Э. Фейгенбаум, Р. Форсайт, Э. Попов, Д. Поспелов (продукционные модели представления знаний); М. Минский, Ю. Нильсон (фреймворковые модели); А. Ивахненко, Дж. Холланд, Д. Уотерман, Э. Гудман (перцептроны, нейронные сети, генетические алгоритмы); А. Тейз, П. Грибомон, А. Закревский (логические и конечно-предикатные модели); Л. Заде, А. Кофман, В. Захаров, С. Ульянов (модели fuzzy logic); Р. Брекман, Г. Хендчикс (семантические сети); И. Сироджа (квантовые модели); М. Шлезингер (многомерные грамматики изображений) и др.

Постановка задачи и ее решение

Задачи рационального или оптимального выбора сил и средств, необходимых для предупреждения и ликвидации ситуаций, связанных с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов, являются наиболее важными, ответственными и сложными в этой области.

Это в полной мере относится как к этапу предупреждения, так и к этапу локализации и ликвидации рассматриваемого типа ситуаций. Решение таких задач может быть получено на основе применения методов оптимизации при разработке математических моделей рассматриваемых процессов [1 – 3].

Выполним постановку и математическую формулировку оптимизационной задачи. На основе рассмотрения физической сущности процесса, возможных вариантов достижения поставленной цели формируется критерий, характеризующий успех или степень достижения поставленной цели.

мируется критерий, характеризующий успех или степень достижения поставленной цели.

Этот критерий представляется в виде функции от параметров, характеризующих решение по формированию группировки сил и средств, необходимых для предупреждения и ликвидации ситуаций, связанных с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов. Такая функция принимается в качестве целевой. В зависимости от сущности задачи и ее целевой функции оптимальное решение может быть максимально, либо минимально возможным значением этой функции.

Наряду с целевой функцией, в каждой задаче должны быть определены ограничения, которые чаще всего представляются в виде неравенств. По своему существу в качестве ограничений могут выступать: имеющиеся в распоряжении силы, средства, ресурсы, которые могут быть использованы в полной мере или частично, условия выполнения работ в этой области.

В математическом плане задачи сводятся, как правило, к задачам нелинейного программирования [1 – 3].

Методы математического программирования основываются на сравнительной оценке способов достижения поставленной цели по принятому критерию эффективности [4, 6].

В общем виде математически задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом:

Требуется найти такие значения неизвестных x_1, x_2, \dots, x_n , которые обращают в максимум (минимум) целевую функцию [1 – 3]

$$K_j = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

при выполнении ряда ограничений:

$$g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) < b_j \text{ или } g_j(x_1, x_2, \dots, x_n) > b_j \\ \text{при } j = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

Ограничениями при этом будут: время выполнения задач, возможности рассматриваемых сил и средств, имеющиеся ресурсные ограничения (экономические, материальные, организационные и так далее). Как правило, функции ограничений представляются в виде неравенств.

При составлении ограничений в виде математических зависимостей в основном исходят из нормативных и опытных данных. При этом следует иметь в виду, что не все условия, влияющие на ход выполнения задачи, могут быть в полной мере учтены и описаны математически. Это относится к морально-психологическим факторам, к условиям местности, погодным условиям, характеру воздействия негативных факторов и так далее.

После того, как осуществлена постановка и математическая формулировка оптимизационной задачи, возникает необходимость выбора метода ее решения, то есть алгоритма получения значений неизвестных, доставляющих экстремум целевой функции и удовлетворяющих заданным ограничениям.

Недостатком методов прикладного нелинейного программирования является то, что получаемые решения не всегда доставляют строгий экстремум целевой функции. Эти методы можно рассматривать как приближенные, точность решения зависит от характера функций, входящих в оптимизационную задачу. Однако, для рассматриваемых случаев выработки организационных мероприятий по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, характеризующихся нелинейностью функций и большой размерностью задач, эти методы наиболее предпочтительны.

Далеко не всегда при оценке и прогнозировании необходимых сил и средств удастся без значительных погрешностей построить целевые функции скорости ликвидации загрязнений V_i в виде линейных от величин x_i , то есть от состава и числа рассматриваемых сил и средств.

Если же рассматривать в качестве критерия эффективности при прогнозировании, оценке и распределении необходимых сил и средств предотвращенный ущерб от аварийных ситуаций, связанных с разливами нефти и нефтепродуктов, то соответствующая целевая функция также в общем случае не может быть представлена как линейная от сил и средств, выделяемых на выполнение задачи.

Такое положение имеет место применительно к большинству задач, связанных с прогнозированием и оценкой необходимых сил и средств. При формулировании таких задач важное значение имеет правильный выбор критериев эффективности.

Рассмотрим принцип построения критерия эффективности на примере задачи ликвидации нефтяных загрязнений. Будем считать, что функции $V_i(x_i)$, целевой функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и ограничений нелинейны.

Обозначим через x_i количество подразделений, назначаемых на ликвидацию загрязнений нефтью i -го объекта, а через V_i^{TP} – скорость ликвидации.

Расчетный темп ликвидации загрязнения нефтью i -го объекта при выделении на него подразделе-

лений зададим в виде функции

$$V_i(x_i) = V_i(x_i, q_i), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Функции $V_i(x_i, q_i)$ зависят от условий выполнения задач (местность, характер аварийной ситуации и так далее), единичных нормативов q_i ; количества подразделений x_i и могут быть определены применительно к задачам предупреждения и ликвидации аварийных ситуаций (инженерным задачам, прокладки путей переброски специальной техники, форсирования водных преград, постановки заграждений, сбора и обезвреживания нефтяных отходов и так далее).

Перейдем теперь к рассмотрению наиболее важного вопроса – построению обобщенного критерия выполнения задачи подготовки путей.

Обобщенный критерий, учитывающий выполнение отдельных задач, строится на принципе определения разности показателей эффективности по отдельным задачам, по отдельным мероприятиям. В частности, - по определению разности скорости ликвидации загрязнений на отдельных объектах.

Если воспользоваться введенными обозначениями величин $V_i(x_i, q_i)$ и V_i^{TP} , то разность

$$\Delta V_i(x_i, q_i) = V_i^{TP} - V_i(x_i, q_i) \quad (4)$$

будет характеризовать своего рода «расстояние» между требуемым показателем темпа ликвидации загрязнений на i -м объекте V_i^{TP} и расчетным при условии, что на ликвидацию назначается x_i аварийно-спасательных подразделений.

Зависимость (4) количественно характеризует значение своего рода «дефицита» показателя эффективности. В подобных задачах целесообразнее рассматривать показатель «дефицита» в относительных величинах, разделив разность $\Delta V_i(x_i, q_i)$ на V_i^{TP} , то есть

$$\Delta V_i(x_i, q_i) = \max \{[(V_i^{TP} - V_i(x_i, q_i)) : V_i^{TP}], 0\}. \quad (5)$$

Запишем последовательность таких разностных величин $\Delta V_i(x_i, q_i)$ для всех рассматриваемых объектов, на которых необходимо произвести локализацию и ликвидацию нефтяных разливов

$$[\Delta V_1(x_1, q_1), \Delta V_2(x_2, q_2), \dots, \Delta V_n(x_n, q_n)] \quad (6)$$

и в качестве целевой функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ примем максимальное значение $\Delta V_j(x_j, q_j)$ из всей этой последовательности, то есть

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\Delta V_1(x_1, q_1), \Delta V_2(x_2, q_2), \dots, \Delta V_n(x_n, q_n)]. \quad (7)$$

Таким образом, в качестве обобщенного показателя, характеризующего успех локализации и ликвидации аварийных разливов нефти на всех рассматриваемых объектах принимается максимальное из значений разностных величин $\Delta V_i(x_i, q_i)$.

Очевидно, что если при некотором распределении сил и средств для работы на объектах, максимальное значение рассматриваемой разностной величины будет небольшим, то и все остальные значения также будут малы, так как они не превосходят

максимальное значение. Это обуславливает выбор в качестве функции эффективности выражения (7), которое в более компактном виде можно представить как

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\Delta V_i(x_i, q_i)]. \quad (8)$$

Исходя из изложенного, можно утверждать, что чем меньше значение максимальной разностной величины, то есть функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, тем успех выполнения задачи в целом будет выше.

В качестве обобщенной разностной величины можно принять выражение

$$F(x_1, x_2, \dots, q_n) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n [V_i^2(x_i, q_i)] \right\}^{1/2}}{n}, \quad (9)$$

которое строится по принципу оценки расстояния между двумя точками в n-мерном пространстве.

Для этой целевой функции также справедливо утверждение о том, что чем меньше ее значение, тем успешнее выполняется задача в целом.

Таким образом, функции вида (7), (8), являющиеся обобщенными показателями эффективности выполнения нескольких мероприятий, целесообразно принять в качестве целевых функций в оптимизационных задачах прогнозирования и оценки сил и средств, необходимых для предупреждения и ликвидации ситуаций, связанных с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов.

Принцип построения целевых функций вида (8), (9) показывает, что при их значениях, близких или равных нулю, все частные задачи, а следовательно, и задача в целом, выполняются с требуемой скоростью (темпом), то есть группировка сил и средств сформирована и распределена по объектам выполнения мероприятий по предупреждению и ликвидации аварийных ситуаций правильно.

Для учета важности отдельных мероприятий, выполняемых с помощью рассматриваемой группировки сил и средств, в структуру функций (8), (9) вводят коэффициент значимости ω_i .

В этом случае рассматриваемые функции запишутся в виде,

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\Delta V_i(x_i, q_i) \omega_i]; \quad (10)$$

$$F(x_1, x_2, \dots, q_n) = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n [V_i^2(x_i, q_i) \omega_i] \right\}^{1/2}}{n}. \quad (11)$$

Таким образом, для рассматриваемой математической модели распределения однотипных аварийно-спасательных формирований функции (10), (11) принимаются в качестве целевых, а оптимальное решение определяется на основе их минимизации.

При этом система ограничений должна учитывать:

- имеющееся количество аварийно-

спасательных формирований m ;

- максимально возможное количество подразделений, назначаемых на выполнение i-ой задачи – M_i ;
- показатели, характеризующие требуемые темпы (объемы) выполнения частных задач (мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций) – V_i^{TP} ;
- целочисленность искомых неизвестных – x_i ;
- другие показатели, учитывающие конкретные условия обстановки.

С учетом этого теперь можно сформулировать соответствующую оптимизационную задачу.

Требуется найти такие значения неизвестных величин распределения сил и средств по объектам выполнения работ x_1, x_2, \dots, x_n , при которых целевая функция достигает минимального значения

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\Delta V_i(x_i, q_i) \omega_i] \rightarrow \min \quad (12)$$

с учетом выполнения ограничений

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i \leq m; \\ V_i(x_i, q_i) \leq V_i^{TP} + q_i; \\ x_i \leq M_i; \\ x_i \geq 0, x_i - \text{целые}, i = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (13)$$

В ряде задач в качестве целевой функции может оказаться более целесообразным применение функции (12). К задаче вида (12) сводится и более общая задача прогнозирования и оценки сил и средств, необходимых для предупреждения и ликвидации различных чрезвычайных ситуаций.

Следует отметить, что весьма важным при формулировании оптимизационных задач является правильный выбор обобщенного показателя - критерия, соответствующего сущности и целям общей задачи по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

В ряде случаев таким показателем может быть время. Такой критерий наиболее целесообразен при прогнозировании, оценке и распределении сил и средств, необходимых для выполнения различных по характеру работ и мероприятий.

В этих задачах при построении обобщенного критерия в качестве разностных величин или «расстояния» по частным задачам целесообразно принимать отклонения требуемого времени от расчетного с учетом важности задач, то есть

$$\Delta T_i = \max\{[(T_i(x_i, q_i) - T_i^{TP}) \cdot T_i^{TP}], 0\}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

В формуле (14) предполагается, что при малых значениях X_j , выполняется условие $T_i(x_i, q_i) > T_i^{TP}$.

При этом обобщенный показатель, то есть целевая функция, запишется в виде

$$F = \max\{\Delta T_i\}, \quad (15)$$

где n – количество задач (мероприятий), которые необходимо выполнить.

В тех же случаях, когда представляется воз-

можным сформулировать критерий по совокупности частных задач в таком виде, что он отражает конечную цель предупреждения и ликвидации аварийных ситуаций, то он должен приниматься в качестве целевой функции. К таким показателям в рассматриваемом случае можно отнести предотвращенный экономический ущерб, ущерб здоровью и жизни людей, окружающей среде.

Выводы

Сложности решения оптимизационных задач, рассматриваемых в работе организационных мероприятий, по предотвращению и ликвидации ситуаций связанных с аварийными разливами углеводородного сырья, обусловлены, главным образом, нелинейностью функций и большой размерностью задач. Поэтому для решения таких задач наиболее перспективными являются методы прикладного нелинейного программирования.

Рекомендуемые подходы должны рассматриваться как основа для разработки частных методик прогнозирования, оценки и рационального применения сил и средств, необходимых для защиты населения и территорий от рассматриваемого типа

аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Ашманов С.А. *Линейное программирование*. – М.: Наука, 1981. – 304 с.
2. Белман Р. *Динамическое программирование*. – М.: Иностранная литература, 1960. – 400 с.
3. Вентцель Б.С. *Теория вероятностей*. – М.: Наука, 1964. – 572 с.
4. Горбатов В.А. *Основы дискретной математики*. – М.: Высшая школа, 1986. – 311 с.
5. Зданьски А.К. Крылова Т.О. *Численно-аналитический метод решения краевых задач параболического типа*. – М.: ВЦ АН СССР, 1989. – 33 с., ил. 22 с.
6. Марчук Г.И. *Математическое моделирование в проблеме окружающей среды*. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
7. Поспелов Д.А. *Логические методы анализа и синтеза схем*. – М.: Энергия, 1968. – 368 с.

Поступила в редколлегию 11.07.2008

Рецензент:

ПРОГНОЗ СИЛ ТА ЗАСОБІВ, НЕОБХІДНИХ ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙНИХ РОЗЛИВІВ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ

О.О. Неронов

Розглядається один з алгоритмів оцінки і визначення прийнятності рівня ризику при забезпеченні інформаційної безпеки.

Ключові слова: прогнозування й оцінка сил і засобів, нелінійне програмування.

THE FORECAST OF FORCES AND THE MEANS NECESSARY FOR THE PREVENTION AND LIQUIDATION OF EMERGENCY FLOODS OF HYDROCARBONIC RAW MATERIAL

A.A. Neronov

Principles of forecasting and estimation of forces and means are considered on the basis of methods of applied nonlinear programming.

Keywords: prediction both estimate of forces and tools, nonlinear programming.