

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

**М.А. Галишев, доктор технических наук, профессор;
Ю.Д. Моторыгин, доктор технических наук, профессор;
В.А. Ловчиков, доктор технических наук, профессор.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проведен анализ параметров состояния почвенного покрова на объектах нефтегазового комплекса, основывающихся на критериях экологической оценки и данных экспериментальных исследований по оценке пожароопасного состояния почвенного покрова при разливах нефтепродуктов. Рассмотрены минимальные концентрации содержания нефтепродуктов в почвах и условные агрегатные состояния систем почвенный слой – нефтепродукты в ситуациях угрозы возникновения пожаров. Предлагается алгоритм оптимизации принятия решений при прогнозировании пожароопасного состояния почвенного покрова, направленный на предупреждение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций. Предложенная математическая модель основана на теории конечных цепей Маркова.

Ключевые слова: оптимизация принятия решений, математическое моделирование, нефтяные загрязнения, цепи Маркова

OPTIMIZATION OF ACCEPTANCE OF MANAGEMENT DECISIONS ON SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS OF TECHNOGENIC NATURE

M.A. Galishev; Yu.D. Motorygin; V.A. Lovchikov.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In work the analysis of parameters of a condition of a soil cover on the objects of an oil and gas complex which are based on criteria of ecological assessment and these pilot studies according to a fire-dangerous condition of a soil cover in case of oil spills is carried out. The minimum concentration of content of oil products in soils and conditional aggregate states of systems a soil layer – oil products in situations of threat of emergence of the fires are considered. The algorithm of optimization of decision making when forecasting a fire-dangerous condition of a soil cover, directed to the prevention and liquidation of emergency situations is offered. The offered mathematical model is based on the theory of final chains of Markov.

Keywords: decision making optimization, mathematical modeling, oil pollution, finite Markov chains

В последние годы в Российской Федерации наметилась тенденция увеличения возникновения аварий в техногенной сфере и стихийных бедствий, которые привели к росту количества и масштабов чрезвычайных ситуаций (ЧС) и создали угрозу жизни и здоровью людей. При этом ухудшение экологической ситуации в стране и истощение ее природных ресурсов находится в прямой зависимости от состояния экономики и готовности общества осознать глобальность и важность этих проблем. Для России эта угроза особенно велика из-за преимущественного развития топливно-энергетических отраслей промышленности, отсутствия или ограниченного использования природосберегающих технологий, низкой экологической культуры.

Известно, что от принятия правильного и своевременного управленческого решения по предотвращению возникновения и развития ЧС, связанных с нефтяным загрязнением, зависит эффективность всех спасательных работ и мер по локализации и ликвидации аварийных режимов. Для этого необходимо учитывать целый ряд разнообразных факторов: от компетенции руководителя до уровня риска и технических характеристик объектов. В процессе принятия управленческих решений по предотвращению возникновения и развития ЧС большую роль играет проведение мониторинга по улучшению экологической обстановки в районах с нефтяным загрязнением [1].

Одними из важнейших элементов мониторинга являются система методов наблюдений и комплекс применяемых для этого технических средств [2]. Загрязнение окружающей среды нефтепродуктами приводит к глубокому изменению всех звеньев естественных биоценозов или их полной трансформации, что создает новую экологическую обстановку. Почва представляет собой многофакторную систему, отличающуюся многообразием видов, типов, подтипов, стандартизировать которые пока не представляется возможным. При этом почва, как депонирующий элемент любой экосистемы составляет важнейшее звено биогеохимического круговорота веществ в экосистемах. Вследствие этого почвы являются и важнейшим объектом исследований при оценках антропогенного воздействия. Почвы аккумулируют загрязнители в течение длительного периода, а их химический состав дает интегральную характеристику долговременного загрязнения – его масштабов и превращений в зависимости от видового состава почв и их способности к самоограничению. Следует также учитывать, что система почвенный слой – нефтепродукты – это постоянно меняющийся в природных условиях объект. Как свободные, так и малоподвижные связанные формы нефтепродуктов отдают летучие фракции в атмосферу, а растворимые соединения – в воду. Со временем этот процесс полностью не прекращается, так как микробиологические процессы трансформации углеводородов приводят частично к образованию летучих и водорастворимых продуктов их метаболизма.

В системе показателей пожарной опасности не существует группы показателей, напрямую применимых к таким объектам, какими являются почвы, в той или иной степени загрязненных нефтепродуктами. Почва, содержащая определенное количество нефти или нефтепродукта, несомненно, может представлять пожарную опасность. В литературе поднимался вопрос о пожарной опасности разливов нефтепродуктов на водной поверхности [3]. В частности указывается, что толщина слоя нефти на воде, при которой возможно ее горение, составляет не менее 1–2 мм и в реальных условиях зависит от взаимодействия большого числа факторов. Проблема более подробного изучения условий воспламенения и горения нефтепродуктов на водной поверхности является актуальной.

Не менее актуально изучение процессов горения нефтепродуктов, разлитых в почвенном слое. Система показателей пожарной опасности, принятая в России и ряде других стран, подразумевает в первую очередь разделение всех горючих веществ и материалов по условному агрегатному состоянию [4]. Для твердых горючих веществ, какими являются собственно почвы, существуют следующие основные показатели пожарной опасности: группа горючести, температура воспламенения, температура самовоспламенения, температура тления, условия теплового самовозгорания, индекс распространения пламени и некоторые др. [5].

Согласно работам [5, 6] нефть и нефтепродукты могут находиться в почвах в следующих формах:

- в пористой среде – в парообразном и жидком легкоподвижном состоянии, в свободной или растворенной водной или водно-эмульсионной фазе;

- в пористой среде и трещинах – в свободном неподвижном состоянии, играя роль вязкого или твердого цемента между частицами и агрегатами почвы, в сорбированном состоянии, связанном на частицах горной породы или почвы, в том числе – гумусовой составляющей почв;

- в поверхностном слое почвы или грунта в виде плотной органоминеральной массы.

В первом случае, нефтепродукты, скорее всего, следует оценивать по показателям пожарной опасности жидких веществ; во втором и третьем случаях системы почва – нефтепродукт условно представляют собой твердые вещества.

В зависимости от масштаба нефтяного разлива степень нарушений элементов окружающей среды может быть различной – вплоть до ЧС. При выявлении зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия по степени химического загрязнения нефтепродуктами руководствуются, в частности, следующими критериями (табл. 1) [7].

Таблица 1. Критерии экологической оценки территорий по содержанию в почвах нефтепродуктов (в единицах ПДК)

| Показатель | Экологическое бедствие | Чрезвычайная экологическая ситуация | Относительно удовлетворительный |
|--|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Химические вещества 1 класса опасности (включая бенз(а)пирен) | > 3 | 2–3 | < 1 |
| Химические вещества 3 класса опасности (включая нефть и нефтепродукты) | > 20 | 10–20 | < 1 |

Прогнозирование ситуаций с целью оптимизации принятия решений по предотвращению создания пожароопасного состояния почвенного покрова и угрозы возникновения ЧС при разливе нефтепродуктов может быть осуществлено методами математического моделирования.

Рассмотрим оценку мер, которые можно применить для предотвращения и ликвидации ЧС.

Периодический мониторинг почвы показал, что в зависимости от степени загрязнения почвы, ее можно оценить как:

- 1 – хорошая;
- 2 – относительно удовлетворительная;
- 3 – плохая (после чрезвычайной экологической ситуации).

Для улучшения экологической ситуации желательно объединить правовые средства с политическими, экономическими, информационными мерами. К таким мерам можно отнести методы прогнозирования и оптимального принятия решения. Для использования этих методов нужна математическая модель. Простотой и ясностью физического смысла выделяются модели, основанные на теории конечных цепей Маркова [8, 9].

Конечной цепью Маркова называется процесс, который переходит из состояния в состояние с определенной вероятностью, так называемой вероятностью перехода. Число этих состояний конечно, а значение вероятности перехода полностью определено состоянием, в котором процесс находится в данный момент времени. То есть вероятность перехода является условной.

Рассмотрим следующие ситуации или исходы процесса:

- состояние почвы в следующем периоде наблюдения останется таким же;
- в результате разливов нефти состояние почвы станет относительно удовлетворительным;
- состояние почвы станет плохим (после чрезвычайной экологической ситуации).

Рассмотрим марковскую цепь событий, состоящую из трех состояний – S1, S2 и S3. Поскольку других исходов процесса нет, то $S1+S2+S3=1$.

Тогда процесс перехода из состояния в состояние имеет шесть событий, каждому из событий соответствует вероятность перехода. Обозначим их p_{11} , p_{12} , p_{13} , p_{21} , p_{22} , p_{23} , p_{31} , p_{32} и p_{33} .

Поскольку состояние либо переходит само в себя, либо в другое, то:

$$\begin{aligned} p_{11}+p_{12}+p_{13}&=1, \\ p_{21}+p_{22}+p_{23}&=1, \\ p_{31}+p_{32}+p_{33}&=1. \end{aligned}$$

Соответствующая матрица переходных вероятностей процесса имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix}$$

Для предотвращения загрязнения почвы можно проводить различные мероприятия, предотвращающие разлив нефти, затрачивая на это определенные средства. При разливе нефти придется затрачивать средства для восстановления нормального состояния почвы. Чтобы рассмотреть задачу принятия решений в перспективе, введем матрицу R , определяющую доходы и затраты в денежном эквиваленте, соответствующую матрице перехода:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

С помощью этих матриц можно выбрать наилучшую стратегию принятия решения, основываясь на максимизации ожидаемого дохода.

Обозначим через $f_n(i)$ оптимальный ожидаемый доход, полученный на этапах от n до N включительно при условии, что система находится в начале этапа n в состоянии i и число этапов N конечно.

Обратное рекуррентное уравнение, связывающее f_n и f_{n+1} , можно записать в виде:

$$f_n(i) = \max \left\{ \sum_{j=1}^m p_{ij}^k [r_{ij}^k + f_{n+1}(j)] \right\},$$

где $n=1, 2, \dots, N$, $f_{n+1}(i) \equiv 0$ для всех j .

Приведенное уравнение основано на том, что накапливающийся доход $[r_{ij}^k + f_{n+1}(j)]$ получается в результате перехода из состояния i на этапе n в состояние j на этапе $n+1$ с вероятностью p_{ij}^k . Введем обозначение:

$$v_i^k = \sum_{j=1}^m p_{ij}^k r_{ij}^k,$$

тогда рекуррентное уравнение можно записать следующим образом:

$$f_N(i) = \max(v_j^k),$$

$$f_n(i) = \max \left\{ v_i^k + \sum_{j=1}^m p_{ij}^k f_{n+1}(f) \right\}, n = 1, 2, \dots, N-1.$$

Для примера рассмотрим задачу принятия решения, когда $k=1$, что соответствует решению не вкладывать средства в экологию и $k=2$ – вкладывать деньги в улучшение почвы и предотвращения разлива нефти.

Тогда:

$$p^1 = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,5 & 0,3 \\ 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad R^1 = \begin{pmatrix} 7 & 6 & 3 \\ 0 & 5 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix},$$

$$p^2 = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,6 & 0,1 \\ 0,1 & 0,6 & 0,3 \\ 0,05 & 0,4 & 0,55 \end{pmatrix}, \quad R^2 = \begin{pmatrix} 6 & 5 & -1 \\ 7 & 4 & 0 \\ 6 & 3 & -2 \end{pmatrix}.$$

Для переходной матрицы P^1 , если в текущем году состояние почвы относительно удовлетворительное (вторая строка матрицы), то в следующем году оно может остаться удовлетворительным с вероятностью 0,5 или стать плохим p_{23} с той же вероятностью. При этом доход в первом случае составит $r_{22}=5$ у.е., во втором – $r_{23}=1$ у.е., а накапливающийся доход составит:

$$v_2^1 = 0 \times 0 + 0,5 \times 5 + 0,5 \times 1 = 3.$$

Рассчитаем остальные значения, сведя их в табл. 2.

Таблица 2. **Выбор оптимального решения вложения материальных средств для предотвращения экологической катастрофы**

| j | v_i^k | | $f_1(i)$ | Оптимальное решение k |
|---|---------|-----|----------|-----------------------|
| | k=1 | k=2 | | |
| 1 | 5,3 | 4,7 | 5,3 | 1 |
| 2 | 3 | 3,1 | 3,1 | 2 |
| 3 | -1 | 0,4 | 0,4 | 2 |

Эти значения показывают, что если состояние почвы в начале периода хорошее (состояние 1), то при одном переходе оптимальный ожидаемый годовой доход составляет 5,3 у.е. Если в начальный период состояние почвы относительно удовлетворительное (состояние 2) или плохое (состояние 3), то оптимальным будет решение $k=2$ – вкладывать деньги в улучшение почвы и предотвращение разлива нефти с ожидаемыми годовыми доходами 3,1 и 0,4.

Аналогично можно смоделировать задачи принятия решения с конечным и бесконечным числом этапов, причем переходные вероятности и функции дохода необязательно должны быть одинаковы для каждого года. Данные задачи принятия решения решаются в виде задачи линейного программирования. Таким образом, использование математического подхода на основе конечных цепей Маркова позволит оценить и оптимизировать экономические решения по улучшению экологической обстановки в районах с нефтяным загрязнением.

Литература

1. Об организации и осуществлении государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга): Постановление Правительства Рос. Федерации от 31 марта 2003 г. № 177. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
2. Галишев М.А., Моторыгин Ю.Д. Стохастические методы принятия решений для уменьшения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 4 (28). С. 59–64.
3. Мазур А.С., Акодес А.Ю., Львова Н.Б. Оценка опасности и характер распространения разливов углеводородов на водной поверхности // Вестник С.-Петерб. ин-та ГПС МЧС России. 2006. № 1–2. С. 86–89.
4. ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Изд-во стандартов, 1989.
5. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., 1992.
6. Маршал В. Основные опасности химических производств: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 672 с.
7. Система методов оценки пожароопасного состояния почвенного покрова при воздействии на него нефтепродуктов / Д.В. Грошев [и др.] // Безопасность жизнедеятельности. 2008. № 8.
8. Kemeny J.G., Snell J.L. Finite Markov chains. The University Series in Undergraduate Mathematics. Princeton: Van Nostrand: пер. Дж.Дж. Кемени, Дж.Л. Снелл. М.: Наука. 272 с.
9. Моторыгин Ю.Д. Системный анализ моделей описания процессов возникновения и развития пожара: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2011.

References

1. About the organization and implementation of the state monitoring of the environment (the state environmental monitoring) the Post. It is right. Russian Federation of 31.03.2003. No. 177.
2. Galishev M.A., Motorygin Yu.D. Stochastic methods of decision making for reduction of probability of emergence of emergency situations // Risk Management Problems / in a Technosphere. 2013. No. 4 (28). P. 59–64.
3. Masur A.S., Akodes A.Yu., Lviv N.B. Otsenka of danger and nature of distribution of spill of hydrocarbons on a surface of the water // the SPb Bulletin of institute of GPS EMERCOM of Russia, 2006. No. 1–2. p. 86–89.
4. GOST 12.1.044–89. Fire-and-explosion Hazard of Substances and Materials. Product indicators and methods of their determination.
5. Criteria for evaluation of an ecological situation of the territories for identification of zones of an emergency ecological situation and zones of ecological catastrophe. M., 1992.
6. Marshall V. Main dangers of chemical productions: The lane with English. M.: World, 1989. 672 p.
7. Groshev D.V., Sharapov S.V., Telegin M.A., Kononov S.I. Sistema of evaluation methods of a fire-dangerous condition of a soil cover in case of impact on it oil products / health and safety. 2008. No. 8.
8. Kemeny J.G., Snell J.L. Finite Markov chains. The University Series in Undergraduate Mathematics. Princeton: Van Nostrand translation: Kemeni Dzh.Dzh., Snell Dzh.L. Final chains of Markov. M.: Science. 272 p.
9. Motorygin Yu.D. System analysis of models of the description of processes of origin and development of the fire. Thesis of the Doctor of Engineering. St. Petersburg university of the public fire service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation. St. Petersburg, 2011.