

**Л.И. НЕФЁДОВ**, д-р техн. наук, проф., зав. каф. ХНАДУ (г. Харьков),  
**Е.П. БАБЕНКО**, канд. техн. наук, асистент ХНАДУ (г. Харьков),  
**Н.Ю. ФИЛЬ**, канд. техн. наук, доц. ХНАДУ (г. Харьков),  
**Ю.Л. ГУБИН**, аспирант ХНАДУ (г. Харьков)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЕКТАМИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗЫЧАЙНЫХ ПРИРОДНЫХ СИТУАЦИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Рассмотрены процессы управления проектами ликвидации чрезвычайных природных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах. Разработана математическая модель планирования работ при управлении проектами ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах по многим критериям. Библиогр.: 8 назв.

**Ключевые слова:** управление проектом, чрезвычайные природные ситуации, магистральные автомобильные дороги, планирование работ.

**Постановка проблемы.** Многовариантная проработка организационных и технологических решений позволяет принимать наиболее технологичные проектные решения, обеспечивающие реализацию проекта ликвидации последствий чрезвычайных природных происшествий (ЧПС) на магистральных автомобильных дорогах (МАД) в директивные сроки с минимальными ресурсными затратами.

Общая задача принятия решений по ликвидации ЧПС на МАД декомпозируется на частные задачи: выбора проектов по ликвидации ЧС на МАД; планирования работ по ликвидации ЧС [1]. А эффективное оперативное планирование работ в ходе реализации проектов ликвидации последствий ЧПС на МАД способствуют снижению стоимости работ по проектам на 1,0 – 1,9 % [2, 3].

**Анализ публикаций.** В настоящее время разработаны задачи построения календарных планов реализации проектов, связанных, в основном, с распределением ограниченных ресурсов [4]. Однако задачи распределения ресурсов на сетевых графиках относятся к сложным многоэкстремальным задачам. Также существует небольшое число частных постановок, для которых предложены точные методы решения. В общем случае применяются приближенные и эвристические алгоритмы. Сложность задач еще более возрастает, если учитывать времена перемещения ресурсов между работами [5].

Планирование работ по проектам во многих случаях приводит к изменению продолжительности проектов, как на уровне ожидаемых величин, так и параметров распределения. Решению данной проблемы посвящено

достаточно много работ. Метод PERT [5,6], разработанный в середине 20-го века, стал первой попыткой рассмотрения в расчетах проектного расписания и учитывал в себе неопределенность продолжительности работ. Модели, построенные на основе методологии PERT, позволяют учитывать технологическую неопределенность выполнения основных работ этапов проекта, параллельность и логическую взаимосвязь выполнения комплекса работ. С 1950-х годов многие авторы дополнили PERT, используя метод статистических испытаний Монте-Карло [7].

Использование методов имитационного моделирования позволяет усовершенствовать модель планирования реализации работ проекта ликвидации ЧПС на МАД за счет разработки метода анализа вариантов плана проекта [7]. Это дает возможность разрабатывать планы реализации работ с заданной вероятностью завершения проекта в срок.

Однако в недостаточной мере проработаны задачи формирования расписаний работ по проектам ликвидации последствий ЧПС на МАД. Это препятствует применению методов, основанных на сетевых графиках или технологических маршрутах. Вместе с тем, оперативное и своевременное проведение работ по ликвидации ЧПС на МАД может способствовать не только сокращению стоимости работ по проекту, но и сохранению человеческих жизней. А эффективное управление проектами ликвидации ЧПС на МАД должно основываться не только на информации об источниках ЧПС, причинах возникновения ЧПС на участках МАД, но и на реализованных эффективных проектах и работах ликвидации ЧПС на МАД, т.е. прецедентах.

Таким образом, задачи планирование работ проекта ликвидации последствий ЧПС на МАД с учетом прецедентов является актуальной.

**Целью исследования** является повышение эффективности и оперативности управления проектами ликвидации последствий ЧПС на МАД за счет разработки новых и усовершенствования известных математических моделей и методов планирования работ с учетом их прецедентов при управлении проектами ликвидации последствий ЧПС на МАД по многим критериям.

**Математические модели.** Рассмотрим постановку задачи планирования работ при управлении проектами ликвидации ЧС на МАД. Известно:

– множество видов ресурсов  $K = \{k\}, k = 1, k'$ . Ресурсы можно классифицировать по сроку годности на нескладируемые, складируемые и частично-складируемые. Срок годности ресурса – это период планирования, в течение которого с момента поступления эти ресурсы могут быть использованы для выполнения работ. Нескладируемые ресурсы – это ресурсы со сроком годности один период – это трудовые ресурсы, фонд времени работы оборудования, транспортные средства. Складируемые ресурсы имеют срок годности, превышающий длину периода планирования – это песок,

щебень, топливо. Частично-складируемые ресурсы имеют ограниченный срок годности – это, например, битум, бетон. Кроме того, ресурсы возможно классифицировать на ресурсы повторного и неповторного использования. Ресурс повторного использования – это ресурс, который вновь появляется в системе после того, как работа перестает его потреблять. Ресурс неповторного использования характеризуются тем, что после его использования некоторой работой, его объем уменьшается на величину, равную ресурсоемкости этой работы (использование материалов, финансовых ресурсов);

- множество работ  $J = \{j\}; j = \overline{1, j'}$ , которое нужно выполнить,  $j'$  – число работ по проекту. Каждая работа характеризуется временем начала каждой работы  $s_j \geq 0$  и директивным сроком окончания проекта  $d \geq 0$ ;

- множество вариантов выполнения работ (прецедентов)  $M_j = \{m(j)\}$  по проекту ликвидации последствий ЧПС на МАД,  $j = \overline{1, j'}$ . Каждый вариант выполнения  $j$ -й работы  $m(j)$  в зависимости от затрат ресурса  $k$ -го вида  $r_{kj}^{m(j)} \geq 0$ ,  $k = \overline{1, k'}$ , имеет различную длительность  $j$ -й работы  $\Delta_j^{m(j)} \geq 0$  и стоимость  $C_j(s_j + \Delta_j^{m(j)})$ ;

- технологический порядок выполнения работ  $a_{j\gamma}; j, \gamma = \overline{1, j'}$ , где

$$a_{j\gamma} = \begin{cases} 1, & \text{если работа } j \text{ должна предшествовать работе } \gamma; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

- количество выделяемого ресурса  $k$ -го вида  $q_k \geq 0$ ,  $k = \overline{1, k'}$  на выполнение всех работ.

Необходимо определить вариант  $m(j)$  и длительность выполнения работ  $\Delta_j^{m(j)} \geq 0$ , время начала каждой работы  $s_j \geq 0$ , при которых обеспечивается минимальные времена окончания и стоимость всех работ при выполнении условий предшествования, ограничений по ресурсам, стоимости и директивному сроку окончания всех работ.

Введем переменную  $X_j^{m(j)}$ :

$$X_j^{m(j)} = \begin{cases} 1, & \text{если работа } j \text{ реализуется } m(j) \text{ вариантом;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Для решения этой задачи разработана математическая модель планирования работ проекта ликвидации ЧПС на МАД:

1. Минимизировать продолжительность реализации проекта

$$T = \min \left\{ \max_{j \in J} \sum_{m(j) \in M_j} (s_j + \Delta_j^{m(j)}) X_{jm(j)} \right\}. \quad (1)$$

2. Минимизировать стоимость всех работ

$$C = \min \sum_{j=1}^J \sum_{m(j) \in M_j} C_j (s_j + \Delta_j^{m(j)}) X_{jm(j)}. \quad (2)$$

Область допустимых решений задается следующими ограничениями:

1) завершение проекта в директивный срок  $d$

$$\max_j \sum_{m(j) \in M_j} (s_j + \Delta_j^{m(j)}) X_j^{m(j)} \leq d; \quad (3)$$

2) все работы должны выполняться в технологической последовательности

$$\sum_{m(\gamma) \in M_\gamma} s_\gamma X_\gamma^{m(\gamma)} \geq \left\{ \sum_{m(j) \in M_j} a_{j\gamma} (s_j + \Delta_j^{m(j)}) X_j^{m(j)} \right\}; \quad j, \gamma = \overline{1, j'}; \quad (4)$$

3) количество необходимых ресурсов каждого вида для выполнения множества работ должно не превышать количества ресурса  $q_k$ , выделяемого на выполнение всех работ

$$\sum_{j \in J} \sum_{m(j) \in M_j} r_{kj}^{m(j)} X_j^{m(j)} \leq q_k; \quad k = \overline{1, k'}; \quad (5)$$

4) из множества вариантов выполнения  $j$ -й работы может быть выбран только один

$$\sum_{m(j) \in M_j} X_j^{m(j)} = 1; \quad j = \overline{1, j'}. \quad (6)$$

Выражения (1) – (6) представляют собой общую математическую модель планирования работ при использовании разнородных ограниченных ресурсов при управлении проектами ликвидации последствий ЧПС на МАД.

Рассмотренная задача является задачей объемно-календарного планирования и относится к классу NP-полных [8], т.е. для нее не существуют точные эффективные (отличные от полного перебора) алгоритмы. Для ее решения предлагается использовать “фронтальные” алгоритмы ограниченного перебора [8].

**Выводы.** Таким образом, в статье разработана модель планирования работ проекта ликвидации ЧПС на МАД по многим критериям, которая, в отличие от существующих, позволяет принимать решения с учетом прецедентов по различным, экономическим и времененным критериям и

ограничениям. В дальнейшем планируется разработка системы, позволяющей конструировать модели планирования работ, в которых описываются и наглядно отображаются исходные параметры модели, т.е. работы со своими характеристиками, их взаимозависимостями и ресурсами, используемыми для выполнения работ.

**Список литературы:** 1. Нефедов Л.И. Модели принятия решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах / Л.И. Нефедов, В.Е. Овчаренко, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин // Технология приборостроения. – 2008. – № 2. – С. 25 – 27. 2. Нефедов Л.И. Система поддержки принятия решений по управлению проектами предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на магистральных автомобильных дорогах / Л.И. Нефедов, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матеріали Міжнародної наук.-практ. конференції. – Херсон: Видав. ХДМІ. – Том 1. – 2009. – С. 16 – 19. 3. Нефедов Л.И. Модели управления проектами развития автомобильных дорог / Л.И. Нефедов, Е.П. Бабенко // Дороги і мости. – К.: ДДНДІ ім. М.П. Шульгіна, 2006. – Вип. 4. – С. 78 – 91. 4. Петров Е.Г. Методи і засоби прийняття рішення у соціально-економічних системах. Навч. посібник / Е.Г. Петров, М.В. Новожилова, І.В. Гребенік. – Харків: ХДТУБА, 2002. – 284 с. 5. Бажин И.И. Проектно-логистическое управление ресурсным обеспечением: Монография / И.И. Бажин, В.В. Сысоев. – Н. Новгород: Изд-во Гладкова – 2005. – 221 с. 6. Демченко Ф.О. Теорія графів у задачах розподілу ресурсів: Підруч. для студ. техн. спец. вищ. навч. закл.: [в 2 кн.]. Кн. 1: Алгоритми та методи обчислень / Ф.О. Демченко: Укр. держ. акад. залізн. трансп. – 2008. – 119 с. 7. Нефедов Л.И. Имитационное моделирование реализации проекта ликвидации чрезвычайной природной ситуации на магистральной автомобильной дороге / Л.И. Нефедов, В.Е. Овчаренко, И.Г. Ильге, Ю.Л. Губин // Технология приборостроения. – 2009. – № 1. – С. 17 – 19. 8. Ху Т.Ч. Комбинаторные алгоритмы / Т.Ч. Ху, М.Т. Шинг / Пер. с англ. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И.Лобачевского, 2004. – 330 с.

УДК 338.244:504.453

**Математична модель планування робіт при управлінні проектами ліквідації наслідків надзвичайних природних ситуацій на магістральних автомобільних дорогах / Неф'одов Л.І., Бабенко О.П., Філь Н.Ю., Губін Ю.Л. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 43. – С. 115 – 119.**

Розглянуто процеси управління проектами ліквідації надзвичайних природних ситуацій на магістральних автомобільних дорогах. Розроблена математична модель планування робіт при управлінні проектами ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій на магістральних автомобільних дорогах за багатьма критеріями. Бібліогр.: 8 назв.

**Ключові слова:** управління проектом, надзвичайні природні ситуації, магістральні автомобільні дороги, планування робіт.

UDC 338.244:504.453

**A mathematical model of planning of works is at the management of liquidation of consequences of extraordinary natural situations projects on main highways // Nefedov L.I., Babenko Ye.P., Fil N.Y., Gubin Y.L. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2009. – №. 43. – P. 115 – 119.**

The processes of management the projects of liquidation of extraordinary natural situations are considered on main highways. The mathematical model of planning of works is developed at a management the projects of liquidation of consequences of extraordinary situations on main highways to on to many to the criteria. Refs: 8 titles.

**Keywords:** project management, extraordinary natural events, main highways, allocation of resources.

Статья поступила 02.10.2009