

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИКВИДАЦИИ МНОЖЕСТВА ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРИРОДНЫХ СИТУАЦИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

К.т.н. Н.Ю. Филь, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*В статье приведена разработка математической модели распределения функциональных подразделений и их ресурсов на ликвидацию множества последствий чрезвычайной природной ситуации на автомобильных дорогах.*

*У статті наведена розробка математичної моделі розподілу функціональних підрозділів та їх ресурсів на ліквідацію безлічі наслідків надзвичайної природної ситуації на автомобільних дорогах.*

*To the article development of mathematical model of distribution of functional subdivisions and their resources is driven on liquidation of great number of consequences of natural emergency on highways.*

**Ключевые слова:** модель, чрезвычайная ситуация, ликвидация, автомобильные дороги

## Постановка проблемы

Автомобильные дороги (АД) Украины являются сложной технической системой, а их готовность к устойчивому функционированию в чрезвычайных природных ситуациях (ЧПС) возможна при выполнении комплекса организационно-технических и экономических мероприятий.

Чрезвычайная природная ситуация – это событие, которое по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности может вызвать негативные последствия для жизнедеятельности людей, также экономики и природной среды [1,2]. ЧПС - это катастрофическое природное явление (или процесс) которое может вызвать многочисленные жертвы, значительный материальный ущерб и другие тяжелые последствия. ЧПС весьма разнообразны, но имеют некоторые общие закономерности [3].

Первая закономерность ЧПС состоит в том, что они никогда не могут быть ликвидированы полностью. Это связано с тем, что человечество постоянно использует окружающую среду в качестве источника своего существования и развития.

Вторая закономерность ЧПС выявляется при анализе развития географической системы: общее число экстремальных событий, ведущих к возникновению ЧПС, постоянно увеличивается. При этом, растут разрушительная сила и интенсивность большинства стихийных бедствий, а также число жертв, моральный и материальный ущерб, причиняемый ими.

Третья закономерность связана со второй и проявляется во все возрастающей «общей чувствительности» мирового сообщества к ЧПС. Рост «чувствительности» подразумевает выделение сообществом все большего числа ресурсов на подготовку и проведение различных глобальных организационных и технических мероприятий, а также на изготовление

защитных приспособлений и строительство защитных сооружений.

Четвертая закономерность позволяет выявить основные общие факторы, без которых нельзя надежно прогнозировать материальный ущерб и число жертв при любых ЧПС. К ним относят исторические и социальные условия в обществе, сложившиеся к моменту прогноза; уровень экономического развития и географическое положение районов бедствия; определяющие условия землепользования и их перспективы; возможность негативного сочетания с другими природными процессами и т. п.

Пятая закономерность заключается в том, что для любых видов ЧПС может быть установлена пространственная приуроченность.

Шестая закономерность позволяет связать силу и интенсивность ЧПС с его частотой и повторяемостью: чем больше интенсивность ЧПС, тем реже оно повторяется с той же силой.

Эти закономерности подтверждаются динамикой роста ЧПС за последние 5 лет [1].

В XXI веке, по мере роста урбанизации, вопросы изучения и прогноза устойчивости склонов и противооползневой защиты приобрели весьма актуальный характер, – в особенности в связи с возрастанием количества природно-техногенных оползней катастрофического характера (Черновцы. 1994, Днепропетровск. 1997. Купянск, 2007 г и др.). Освоение склонов связано с реальным риском возникновения новых и активизации уже имеющихся оползней, что сопряжено с возможностью разрушения существующих или проектируемых АД. Город Харьков и многие населенные пункты Харьковской области отличаются высокой степенью урбанизации. Поэтому ликвидация последствий ЧПС является актуальной задачей.

Однако, круг нерешенных в этой области проблем еще достаточно широкий. Трудность решения задачи ликвидации последствий ЧПС на АД вызвана тем, что характер развития конкретной ЧПС является сугубо индивидуальным, а само ее развитие происходит в условиях неопределенности, когда не известны необходимые темпы ликвидации, объемы ресурсов и уровень сложности выполняемых работ. Недостаток информации о характере развития ЧПС может привести к развитию ситуации с катастрофическими последствиями. Кроме того, часто последствия от произошедшей ЧПС необходимо ликвидировать на нескольких участках АД. В этих условиях актуальными становятся задачи распределения функциональных подразделений и их ресурсов для ликвидации нескольких последствий ЧПС на АД.

**Анализ последних исследований.** Проблеме ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) посвящено множество работ. В работе [4] представлен

метод, позволяющий определить наиболее эффективные мероприятия по снижению рисков и смягчению последствий ЧС на объектах защиты и, следовательно, оптимальные для реализации с точки зрения обеспечения безопасности и вложения финансовых средств.

Ликвидация техногенных ЧС, связанных с разливом нефти и нефтепродуктов рассматривается в работе [5].

В тоже время проблеме ликвидации последствий ЧПС на АД достаточно внимания.

Таким образом, ликвидация множества последствий ЧПС на АД сегодня является малоизученной темой. Учитывая сказанное выше, актуальной задачей является разработка модели распределения функциональных подразделений для ликвидации множества последствий чрезвычайных природных ситуаций на автомобильных дорогах.

**Постановка цели и задач.** Целью статьи является повышение эффективности ликвидации последствий чрезвычайных природных ситуаций на автомобильных дорогах за счёт разработки модели распределения функциональных подразделений и их ресурсов на ликвидацию множества различных последствий чрезвычайной природной ситуации на автомобильных дорогах, что позволит сократить затраты времени и трудозатраты на восстановления движения.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать математическую модель распределения функциональных подразделений на ликвидацию множества различных последствий чрезвычайной природной ситуации на автомобильных дорогах;

- реализовать модель распределения функциональных подразделений на ликвидацию множества различных последствий чрезвычайной природной ситуации на автомобильных дорогах на конкретном примере.

**Изложение основного материала**

Рассмотрим постановку задачи распределения функциональных подразделений (ФП) и их ресурсов для ликвидации нескольких последствий на АД.

Известно:

- множество объектов  $\Omega = \{\Omega_\alpha\}$  ( $\alpha = \overline{1, \alpha'}$ ), которые являются последствиями ЧПС на АД;

- $(C_\alpha^x, C_\alpha^y)$  – координаты эпицентра  $\alpha$ -объекта ЧПС ( $\alpha = \overline{1, \alpha'}$ );

- координаты расположения  $\nu$ -го ФП  $(x_\nu^*, y_\nu^*)$ , тогда расстояние от  $\nu$ -го ФП к  $\alpha$ -объекту ЧПС на АД можно определить по следующей формуле:

$$S_{\nu\alpha}^* = k_\nu^* \sqrt{(x_\nu^* - C_\alpha^x)^2 + (y_\nu^* - C_\alpha^y)^2}, \quad (1)$$

где  $S_{\nu\alpha}^*$  – расстояние от  $\nu$ -го ФП к эпицентру к  $\alpha$ -объекту ЧПС на АД;

$k_\nu^*$  – коэффициент кривизны траектории доставки сил и средств из  $\nu$ -го ФП к  $\alpha$ -объекту ЧПС на АД;

$t_{\nu\alpha}^m(S_{\nu\alpha}^*)$  – время доставки ресурсов (техники, специалистов, инструментов и др.)  $m$ -го типа из  $\nu$ -го ФП к  $\alpha$ -объекту ЧПС на АД;

$\overline{N}_\nu^m$  – количество ресурсов  $m$ -го типа, которые находятся в  $\nu$ -м ФП;

$\overline{R}_\alpha^m$  – количество ресурсов  $m$ -го типа ( $m = \overline{1, m'}$ ), которые необходимы для ликвидации  $\alpha$ -объекта ЧПС на АД.

Требуется определить  $\overline{X}_{\nu\alpha}^m$  – количество ресурсов  $m$ -го типа, доставляемых из  $\nu$ -го ФП, для ликвидации  $\alpha$ -объекта ЧПС на АД по следующим критериям и ограничениям:

- минимальное время доставки необходимых ресурсов для ликвидации множества последствий ЧПС на АД;

$$T = \min \sum_{\alpha=1}^{\alpha'} \sum_{\nu=1}^{\nu'} \sum_{m=1}^{\overline{N}_{\nu\alpha}^m} t_{\nu\alpha}^m(S_{\nu\alpha}^*) \overline{X}_{\nu\alpha}^m; \quad (2)$$

- максимальное обеспечение необходимыми ресурсами для ликвидации множества последствий ЧПС на АД;

$$\overline{R}_\alpha^m = \max \sum_{\alpha=1}^{\alpha'} \sum_{\nu=1}^{\nu'} \overline{X}_{\nu\alpha}^m; \quad m = \overline{1, m'}. \quad (3)$$

Область допустимых решений задается следующими ограничениями:

- количество ресурсов  $m$ -го типа доставляемых из ФП, которые необходимы для ликвидации  $\alpha$ -объекта ЧПС на АД, должно быть не менее требуемого для ликвидации последствий ЧПС:

$$\sum_{\alpha=1}^{\alpha'} \sum_{\nu=1}^{\nu'} \overline{X}_{\nu\alpha}^m \geq \overline{R}_\alpha^m; \quad m = \overline{1, m'}; \quad (4)$$

- количество ресурсов  $m$ -го типа доставляемых из  $\nu$ -го ФП, которые необходимы для ликвидации  $\alpha$ -объекта ЧПС на АД, не должно превышать имеющегося в наличии:

$$\overline{X}_{\nu\alpha}^m \leq \overline{N}_\nu^m; \quad m = \overline{1, m'}; \quad \nu = \overline{1, \nu'}; \quad (5)$$

- условие неотрицательности переменных:

$$\overline{X}_{\nu\alpha}^m \geq 0; \quad m = \overline{1, m'}; \quad \nu = \overline{1, \nu'}; \quad \alpha = \overline{1, \alpha'}; \quad (6)$$

- условие целочисленности переменных:

$$\overline{X}_{\nu\alpha}^m = int; \quad m = \overline{1, m'}; \quad m'' < m'; \quad \nu = \overline{1, \nu'}; \quad \alpha = \overline{1, \alpha'}. \quad (7)$$

Сформулированная задача (1-7) является задачей линейного частично-целочисленного программирования.

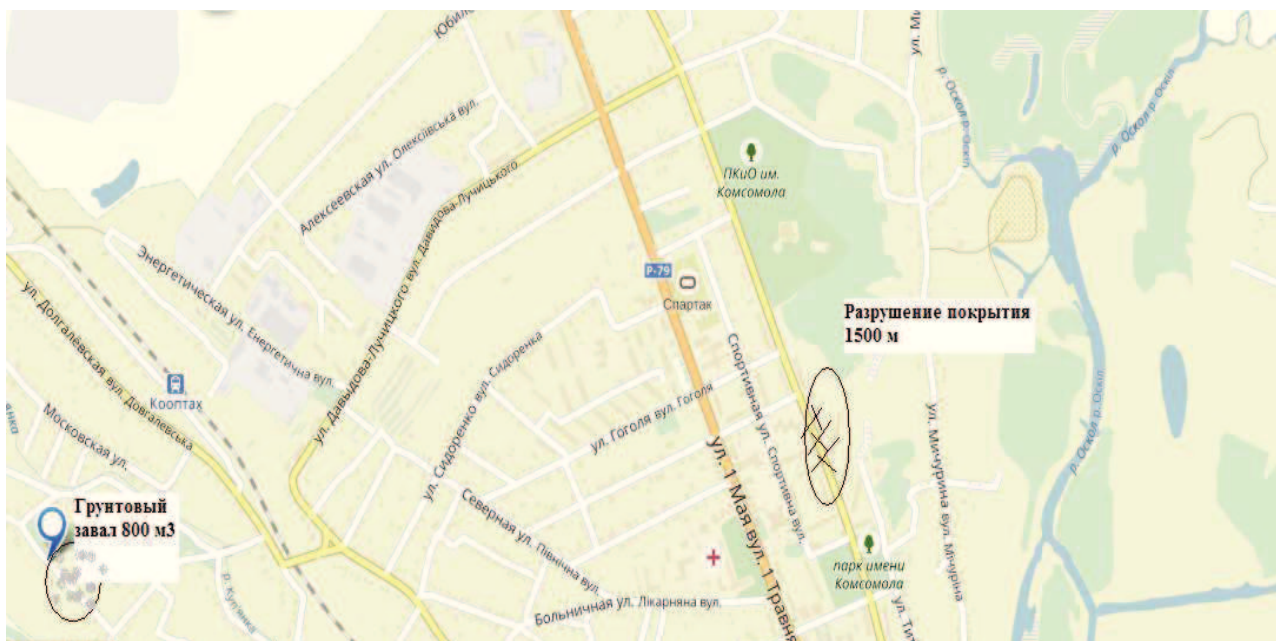


Рис. 1. Пример АД последствиями ЧПС

Для решения задачи линейного программирования существует большое число методов. Наиболее распространенным из них является графический метод, метод простого перебора и симплекс-метод [6].

**Результаты применения метода.** Рассмотрим пример. В результате ЧПС на АД два разрушения. Движение прервано.

Для восстановления необходимо выполнить дорожные работы по ликвидации последствий ЧПС на АД (рис. 1). Дорожно-строительная организация для ликвидации последствий ЧПС на АД может выделить два функциональных подразделений. Начальные параметры заданы в табл. 1. Каждое ФП может работать на любом из объектов. После решения поставленной задачи для 1 объекта назначается ДРП-1 (Филиал - Купянское ДРП), для 2 объекта - Купянское ДРП.

Таблица 1

Начальные данные о ресурсном обеспечении ФП

Ресурсы	Требуемые для ликвидации за 1 сутки		Имеющиеся в ФП	
	Объект 1	Объект 2	Купянское ДРП	ДРП-1 (Филиал - Купянское ДРП)
Характеристики				
Рабочие, чел	15	9	30	45
Техника, единиц				
– экскаватор	1	1	1	1
– погрузчик	1	-	1	1
– самосвал	2	1	1	1
– ДПС	1	-	1	2
Расстояние для 1 ФП	9,62	2,45		
Расстояние для 2ФП	8,41	1,3		

**Выводы.** Таким образом, в работе разработана математическая модель распределения функциональных подразделений и их ресурсов на ликвидацию множества последствий чрезвычайной природной ситуации на автомобильных дорогах.

Пути исследования, связанные с разработкой моделей планирования работ по ликвидации последствий ЧПС на АД с учетом рисков, считаются перспективными.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Нефёдов Л.И. Модели и методы управления чрезвычайными природными ситуациями на магистральных автомобильных дорогах [Текст] / Л.И. Нефёдов, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин, Е.М. Мельниченко. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 136 с.
2. Азанов С. Н. Методика оптимального распределения сил при ликвидации чрезвычайных ситуаций / С. Н Азанов., И. И. Мухин // ВИНИТИ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1999. - Вып. 4. - С.49-54
3. Голінько В.І. Безпека людини у надзвичайних ситуаціях . Навч. посіб. для вищ. навч. закл./ В.І. Голінько, М.Ф. Кременчуцький, В.Г. Клочков та ін./ За ред.: В.І. Голінько. – Дніпропетровськ: НГУ, 2004. – 160 с.
4. Чумичева В.В. О применении метода комплексной оценки состояния объектов защиты от чрезвычайных ситуаций : [Электрон. ресурс] / В.В. Чумичева – Режим доступа: [http://agps-2006.narod. ru/ttb/](http://agps-2006.narod.ru/ttb/).
5. Малышев Б.В. Оценка возможных последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в результате дорожно-транспортных происшествий. Обоснование оптимального состава сил и средств локализации и ликвидации последствий аварий / Б.В. Малышев, Н.А. Ефимов // Технологии гражданской безопасности.– 2009. – Том. 6 – № 1-2 (19-20) – С. 116-121.
6. Нефёдов Л.І. Модель вибору ресурсів для аварійно-рятувних робіт з ліквідації надзвичайних природних ситуацій на магистральних автомобільних дорогах/ Л.І. Нефёдов, Н.Ю. Филь, Ю.Л. Губин // Пожежна безпека: Теорія і практика: зб. наук. пр. Акад. пожеж. безпеки ім. Героїв Чорнобиля – №4. – Черкаси, 2009. – С.79-83.