

ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКТОВАНИЯ АВАРИЙНО- СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

В. М. Крышталь

Старший преподаватель

Кафедра пожарной тактики и
аварийно-спасательных работ

Черкасский институт пожарной безопасности
им. Героев Чернобыля Национального университета
гражданской защиты Украины
ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023

E-mail: kryshstal.v@ukr.net

В. Е. Снитюк

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой

Кафедра интеллектуальных информационных систем
Киевский национальный
университет им. Тараса Шевченко
ул. Ломоносова, 81, г. Киев, Украина, 03022

E-mail: snytyuk@gmail.com

Розглянуто проблему комплектування аварійно-рятувальної техніки та визначено аспекти її розв'язання. Виконано формалізовану постановку задачі комплектування та аналіз методів її розв'язання. Запропоновано моделі, що супроводжують процес проектування її ефективного розв'язку. Визначено особливості та переваги розв'язання задачі комплектування з використанням еволюційних технологій, методу аналізу ієрархій та елементів теорії нечітких множин

Ключові слова: аварійно-рятувальна техніка, комплектування, оптимізація, критерій, інформаційна база

Рассмотрена проблема комплектования аварийно-спасательной техники и определены аспекты ее решения. Выполнена формализованная постановка задачи комплектования и осуществлен анализ методов ее решения. Предложены модели, сопровождающие процесс проектирования ее эффективного решения. Определены особенности и преимущества решения задачи комплектования с использованием эволюционных технологий, метода анализа иерархий и элементов теории нечетких множеств

Ключевые слова: аварийно-спасательная техника, комплектование, оптимизация, критерий, информационная база

1. Введение

Экономическое развитие в Украине в последние годы определялось ростом производства в металлургической, химической и энергетической отраслях. Такая направленность является предпосылкой экологических, техногенных катастроф и вероятность таких угроз с каждым годом возрастает, поскольку соответствующее оборудование в значительной степени выработало свой ресурс. Одновременно наблюдается определенный кадровый и ресурсный дефицит, обусловленный причинами различного характера. Оказывают влияние и обстоятельства, связанные с определенным агрессивным внешним воздействием.

На первый уровень выходят задачи, связанные с обеспечением безопасности проживания населения, предоставления ему своевременной и качественной помощи в критических условиях. Важную роль здесь играет аварийно-спасательная техника, ее состояние и укомплектованность.

В статье рассматривается проблема комплектования аварийно-спасательной техники и аспекты ее возможного решения. Как известно, проблема – это несоответствие реального и желаемого состояния че-

го-либо. В рассматриваемом случае, проблема считалась решенной, если аварийно-спасательная техника была бы оптимальным образом укомплектована. Но что означает оптимальность комплектации? Ниже попытаемся дать ответ на этот вопрос.

2. Анализ литературных источников и постановка проблемы

Комплектование аварийно-спасательной техники имеет несколько целей, а именно:

- на ограниченной территории обеспечить эффективное и полное проведение комплекса аварийно-спасательных работ, заключающееся в обеспечении безопасности людей, ликвидации последствий аварии и минимизации материального ущерба;

- обеспечить приемлемые компоновочные решения, поскольку перечень оборудования для выполнения аварийно-спасательных работ есть достаточно большим, и значительное количество элементов являются взаимно-заменяемыми.

Традиционно достижение таких целей связано с выбором определенного варианта из допустимых или

закупкой директивно указанного оборудования. На сегодняшний день отсутствует системный подход к определению оптимального комплектования и решения принимаются, исходя из опыта и интуиции экспертов. Очевидно, что решать такую задачу необходимо, основываясь на информации о территории, на которой будет применяться аварийно-спасательная техника. Управление процессом осуществления комплектования должно выполняться, исходя из изучения таких аспектов:

- количества предприятий, являющихся потенциальными источниками экологической и техногенной угрозы;
- типа возможных катастроф, их масштабов и способов ликвидации;
- количества населения и его структуры;
- наличия и размера финансовых ресурсов, которые можно потратить на приобретение оборудования.

Поскольку промышленные аварии могут происходить в разных масштабах, то возникает проблема выбора: на какой вариант развития событий ориентироваться – с максимально негативными последствиями или средними. В зависимости от ее решения определяется вариант комплектования, необходимым условием чего является идентификация зависимости между масштабом аварии и выбором варианта комплектования. И масштаб аварии, и вариант комплектования подлежат формальному описанию, а задача, которая рассматривается, формализации. Далее рассмотрим элементы технологии, которые позволяют объективизировать процесс принятия решений при комплектовании аварийно-спасательной техники.

Актуальность задачи комплектации аварийно-спасательной техники определяется динамикой роста количества ситуаций, в которых необходимым является ее использование, а также увеличением техногенной нагруженности окружающей среды [1]. Волонтеристский подход к ее решению приводит к тому, что при выполнении аварийно-спасательных работ зачастую отсутствует необходимый инструментарий вообще, или невозможно выполнить задание в полном объеме.

Рассматриваемая задача является логическим продолжением ряда задач обеспечения пожарной безопасности, рассматривающихся ранее и решаемых с использованием технологий Soft Computing [2], в частности:

- определение кратчайшего маршрута следования пожарного расчета к месту пожара с оптимизированным пространством поиска [3];
- расчет пути и времени распространения огня к особо опасному объекту [4];
- оптимизация системы пожарной сигнализации в зависимости от предполагаемого масштаба последствий и типа помещения [5];
- постпрогнозирование концентрации опасного химического вещества после аварийного выброса [6];
- оценивание уровня безопасности проживания в многоэтажных домах в зависимости от этажа и наличия средств эвакуации и защиты [7].

Современное состояние в рассматриваемой области характеризуется значительно расширенным ассортиментом противопожарной и спасательной продукции, снятием ограничений на импорт зарубежных образцов, но существованием определенного дефици-

та финансовых ресурсов. Нельзя также не обратить внимание на необходимость обеспечения широкой функциональности и максимальной мощности оборудования. Еще одной важной особенностью является то, что в большинстве случаев носителем аварийно-спасательной техники является пожарный автомобиль, на котором находится соответствующий контейнер.

Задача комплектования аварийно-спасательной техники имеет много общего с известной задачей упаковки в контейнеры [8, 9], которая заключается в размещении объектов предопределенной формы таким образом, чтобы число использованных контейнеров было наименьшим или объем объектов был наибольшим. Существует множество разновидностей этой задачи, отличающихся критериями упаковки, в частности, – это двумерная упаковка, линейная упаковка, упаковка по весу, упаковка по стоимости и другие, которые могут применяться в разных областях.

В задаче комплектования аварийно-спасательной техники целевая функция задачи об упаковке преобразовывается в ограничения на габаритные размеры элементов. Целевыми функциями являются функциональность, мощность, надежность, стоимость, другие характеристики элементов аварийно-спасательной техники [10]. Поэтому первоочередной задачей является формирование интегрального критерия и представление потенциальных решений задачи.

Составляющими элементами (факторами) такой задачи являются варианты комплектования как потенциальные решения, внешние факторы, определяемые динамикой окружающей среды, и факторы, определяющие развитие нештатных ситуаций. И здесь бы пригодилась ретроспективная информация, содержащая статистические данные о прошлых авариях. Но, чаще всего, такой информации не существует, поскольку почти каждую промышленную аварию отличают особенности, не имевшие аналогов ранее. Именно поэтому, одним из способов обойти эту проблему является определение критериев включения отдельных элементных решений в комплектацию техники.

Заметим, что при их установке учитывается количество аварий, на которых были использованы однотипные элементные решения; мощность и достигнутый положительный эффект, выраженный в единицах объема выполненной работы; негативный эффект, полученный в результате неиспользования элементного решения и выраженный в единицах полученного ущерба; возможность установки элементного решения на аварийно-спасательную технику указанного типа.

Разработка таких критериев позволит оптимизировать процесс комплектования аварийно-спасательной техники, учитывая экономические, технологические, технические и другие факторы.

3. Цель и задачи исследования

Рассмотренные особенности комплектования аварийно-спасательной техники и способы, которыми оно осуществляется в настоящее время, позволяют сформулировать цель настоящего исследования как повышение эффективности процесса комплектования путем разработки моделей и методов поддержки при-

нения решений на основе решения задачи многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности.

Достижение указанной цели достигается путем решения следующих задач:

- осуществления формализованной постановки задачи комплектования аварийно-спасательной техники;
- формирования комплекса моделей, сопровождающих полученное решение по этапам его жизненного цикла;
- разработки интегральной целевой функции, определяющей качество полученного решения;
- построения процедур, оптимизирующих процесс решения задачи;
- разработки структуры информационной базы, как информационного базиса процессов поддержки принятия решений.

4. Формализация задачи комплектования аварийно-спасательной техники

Задача комплектования требует системного подхода к ее решению, что связано со следующими особенностями:

- комплектование одной отдельной единицы осуществляется, исходя из комплектования подразделений, обслуживающих определенную территорию, на которой проживает определенное количество населения, имеющей свои особенности естественной и искусственной окружающей среды и на которой прогнозируются последствия той или иной аварии или катастрофы;
- задача комплектования является многокритериальной, что определяется необходимостью обеспечения максимальной функциональности оборудования, минимизации его габаритных размеров, максимизации мощности и минимизации стоимости;
- необходимым условием решения такой сложной задачи является решение задачи комплектования одного пожарного автомобиля аварийно-спасательными средствами;
- необходимо предусмотреть учет качественных особенностей процесса принятия решений, что позволит получать приемлемые решения на базе теории нечетких множеств.

Анализируя данные задачи комплектования аварийно-спасательной техники и рассматривая возможные подходы к ее решению, приходим к выводу, что задача могла бы быть сведена к задаче дискретного сепарабельного программирования [11]:

$$\text{найти } \max F(x) = \sum_{i=1}^N F_i(x_i),$$

при ограничениях:

$$g_p(x) = \sum_{i=1}^N g_p(x_i) \leq g_p^*, \quad p = \overline{1, q},$$

$$g_p(x) = \sum_{i=1}^N g_p(x_i) \geq g_p^*, \quad p = \overline{q+1, Q},$$

где $F_i(x_i)$, $g_p(x_i)$ – функции дискретного аргумента, заданные таблично.

Известно, что задачи такого рода относят к NP-полным. В целевую функцию здесь входит сумма частных критериальных функций без весовых коэффициентов. Очевидно, что в такой постановке могут быть сделаны предположения, упрощающие процесс ее решения. Для решения задачи комплектования аварийно-спасательной техники нам представляется рациональным использовать идеи решения задач многокритериальной оптимизации [12, 13], метода последовательного анализа вариантов [11, 14] и эволюционного моделирования [15–17].

Рассмотрим формализованную постановку задачи комплектования аварийно-спасательной техники, элементы которой содержатся в [1]. Пусть множество $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ представляет номенклатуру аварийно-спасательной техники. Каждый элемент множества X принадлежит к одному из классов множества $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, где $k \ll n$. Предположим, что в комплект должно входить оборудование из каждого из $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ классов, $m < k$, т. е. $\{X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_j}^1\} \subset C_1, \dots, \{X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_m}^m\} \subset C_m$. Каждому элементу множества X поставим в соответствие совокупность значений

$$X_q \rightarrow \langle F_{1_q}, F_{2_q}, F_{3_q}, a_q, b_q, c_q \rangle, \quad (1)$$

где F_{1_q} – значение функциональности q -го элемента; F_{2_q} – значение его производительности (мощности); F_{3_q} – надежность элемента, F_{4_q} – цена элемента; a_q, b_q, c_q – его габаритные размеры, $q = \overline{1, n}$.

Без ограничения общности будем предполагать, что все элементы имеют форму прямоугольного параллелепипеда и они должны быть размещены в прямоугольном контейнере. Кроме того, в контейнере должно быть по одному элементу из каждого класса.

Тогда задача комплектования аварийно-спасательной техники сводится к задаче многокритериальной оптимизации:

$$\begin{aligned} F_1(x) &\rightarrow \max, F_2(x) \rightarrow \max, \\ F_3(x) &\rightarrow \max, F_4(x) \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (2)$$

где $x = (x_{i_1}^1, x_{i_2}^2, \dots, x_{i_m}^m)$, $x_{i_j}^j \in C_j$ при ограничениях:

$$\begin{aligned} F_1(x_{i_j}^j) &\geq F_{1\min}^j, F_2(x_{i_j}^j) \geq F_{2\min}^j, F_3(x_{i_j}^j) \geq F_{3\min}^j, \\ F_4(x_{i_j}^j) &\leq F_{4\max}^j, F_i(\cdot) > 0, i = \overline{1, 4}, \\ 0 < a_q(x_{i_j}^j) &< \max\{a, b, c\}, \\ 0 < b_q(x_{i_j}^j) &< \max\{a, b, c\}, \\ 0 < c_q(x_{i_j}^j) &< \max\{a, b, c\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $a_q(x_{i_j}^j)$, $b_q(x_{i_j}^j)$, $c_q(x_{i_j}^j)$ – габаритные размеры элемента аварийно-спасательной техники, a, b, c – габаритные размеры контейнера.

5. Модели, сопровождающие процесс решения задачи комплектования аварийно-спасательной техники

Предваряя описание процесса решения задачи (2)–(4), отметим необходимость выполнения следу-

ющих действий, являющихся предпосылками его эффективного осуществления:

1. Формирование комплекса моделей, которые позволят осуществить идентификацию критериальных функций на основании данных об элементной базе и результатах использования элементов аварийно-спасательной техники.

2. Разработка интегрального критерия, получение значений которого позволит установить предпочтения на комбинаторном множестве вариантов.

Рассмотрим задачу формирования комплекса моделей, которые составляют информационно-аналитический базис исследования. Известно, что при создании сложных систем традиционно [18] используют модели строения, функционирования и развития.

При решении задачи комплектования модель строения имеет вид:

$$M_s = \langle X_1, X_2, \dots, X_n \rangle, \tag{5}$$

где n – количество элементов аварийно-спасательной техники. Модель строения является базисом, который предназначен для формирования множества элементов и структуры при комплектовании. Отметим, что каждый комплект аварийно-спасательной техники может иметь различное количество элементов и являться потенциальным решением задачи ее комплектования

Модель функционирования

$$M_f = \langle G_1, G_2, \dots, G_n \rangle, \tag{6}$$

где $G_i, i = \overline{1, n}$, – преобразование, которое реализуется i -м элементом, причем $Y_i = G_i(I_i, R_i, P_i), Y_i$ – некоторая характеристика, определяемая преобразованием G_i и указывающая на его результат, I_i – априорная информация о типах аварийных ситуаций, их масштабах и возможных последствиях, R_i – материальные и энергетические ресурсы, необходимые для функционирования элемента X_i и получения значения Y_i , P_i – особенности процесса преобразования $\langle I_i, R_i \rangle \rightarrow Y_i, i = \overline{1, n}$. Построение модели (6) связано с необходимостью исследования разрешимости задачи комплектования аварийно-спасательной техники по входу, ресурсу и процессу.

Третью модель – модель развития представим, используя принадлежность элементов классам

$$M_d = \langle (X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_j}^1), \dots, (X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_m}^m) \rangle, \tag{7}$$

где m – количество классов элементов аварийно-спасательной техники, выполняющих подобные функции. В пределах каждой совокупности элементы могут быть упорядочены по уровню функциональности, мощности, надежности и по стоимости. Возможны также варианты упорядочения по значению габаритов. Важно заметить, что в модели развития должны быть предусмотрены возможности по усовершенствованию техники и возможным ее заменах.

Рассмотренные модели образуют базис для формирования критериев, которые будут использованы при принятии решений по выбору оптимального варианта комплектации аварийно-спасательной техники в условиях ресурсно-финансового дефицита.

6. Методы формирования критериальной функции

Задача комплектования АСТ имеет особенности, к которым относятся многокритериальность, разноразмерность значений критериальных функций, слабоструктурированность. Рассмотрим аспекты формирования интегрального критерия (целевой функции), исходя из известных методов решения задач многокритериальной оптимизации [19]. Заметим, что функции (2) могут задаваться таблично, так и иметь вид аналитических зависимостей. В первом случае необходимо решать задачу их структурной и параметрической идентификации.

1. *Метод главного критерия.*

Использование этого метода связано с выбором критерия, который становится определяющим. Предположим, что главным критерием является стоимость элемента аварийно-спасательной техники. Тогда задача (2)–(4) преобразуется к такому виду:

$$F_4(x) \rightarrow \min, x = (x_{i_1}^1, x_{i_2}^2, \dots, x_{i_m}^m), x_{i_j}^m \in C_j, \tag{8}$$

$$x \in D, D = \{x / F_{i_{\min}} < F_i(x), i = \overline{1, 3}\} \tag{9}$$

и выполнено (4). В задаче (8), (9) $F_{i_{\min}}, i = \overline{1, 3}$, – минимально возможные значения i -го критерия. Таким образом, получаем задачу однокритериальной оптимизации. Ее решение в случае известных значений F_1, F_2, F_3, F_4 для всех элементов сводится к поиску

$$x_i^* = \min_{x \in D} F_4(x), \tag{10}$$

где D – область, в которой выполняются ограничения (3) и (4). Если $x_i^* \in D$, то решение найдено, если нет – ищем

$$x_2^* = \max_{\substack{x \in D \\ x \neq x_1^*}} F_3(x) \text{ и т. д.} \tag{11}$$

Если $\exists x_i^* : x_i^* = \max_{x \in D} F_3(x), x_i^* \in D$, то задача имеет решение, в противном случае – решения нет.

2. *Метод линейной свертки.*

Необходимыми условиями реализации метода являются:

- нормализация значений критериальных функций;
 - определение весовых коэффициентов критериев.
- Интегральный критерий будет таким:

$$F(x) = \alpha_1 F_1(x) + \alpha_2 F_2(x) + \alpha_3 F_3(x) - \alpha_4 F_4(x) \rightarrow \max, \tag{12}$$

где $\alpha_i > 0, i = \overline{1, 4}, \sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$. Если известны значения

критериальных функций и интегрального критерия на множестве контрольных точек (элементах аварийно-спасательной техники), то коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ могут быть рассчитаны, например, по методу наименьших квадратов. Однако, это не всегда возможно, тем более, что, скорее всего, в массиве начальных данных будет иметь место мультиколлинеарность факторов, гетероскедастичность, автокорреляция факторов и результат будет смещенным. В других случаях необходимо использовать техники обработки экспертных оценок.

3. Метод идеальной точки.

Идеальной называется такая точка (x_1^*, x_2^*, x_3^*) , где $x_i^* = \max_{x \in D} F_i(x)$, $i = \overline{1,4}$. Решив задачи однокритериальной оптимизации, идеальная точка будет найдена. Тогда дальнейшее решение заключается в поиске такой точки:

$$x^* = \text{Arg min}_{x \in D} \left(\sum_{i=1}^4 (F_i(x) - x_i^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \tag{13}$$

Значения критериальных функций должны быть нормированы и если критериальные функции имеют весовые коэффициенты, то задачу (13) перепишем в виде:

$$x^* = \text{Arg min}_{x \in D} \left(\sum_{i=1}^4 \alpha_i (F_i(x) - x_i^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \tag{14}$$

где $\alpha_i > 0$, $i = \overline{1,4}$, $\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$.

Существуют и другие методы решения задач многокритериальной оптимизации, такие как выбор по количеству доминирующих критериев, метод последовательных уступок, последовательного ввода ограничений, желаемой точки, удовлетворения требований, векторной релаксации и т. д. [13], но все они требуют привлечения дополнительной информации, которой может и не быть. Потому для решения нашей задачи мы остановились на вышеприведенных трех методах.

7. Процедуры, оптимизирующие поиск решения задачи

Поскольку полное решение задачи может быть получено только методом полного перебора, а количество возможных вариантов комплектования достаточно велико, то необходимо удалить возможные варианты решения задачи, которые строго доминируются хотя бы одним из других вариантов. Заметим, что такая операция может быть выполнена в начале реализации поиска решения задачи, если мощность множества вариантов сравнительно небольшая. Если это не так, то проверка на доминирование осуществляется в процессе решения задачи для каждого элемента отдельно.

На первом шаге необходимо осуществить предварительную проверку, не существует ли такого элемента аварийно-спасательной техники, что

$$\begin{aligned} &(a_q > \max\{a, b, c\}) \vee \\ &\vee (b_q > \max\{a, b, c\}) \vee \\ &\vee (c_q > \max\{a, b, c\}), \end{aligned} \tag{15}$$

и не существует ли такого набора элементов, что

$$\begin{aligned} &\left(\sum_{q=1}^3 a_q > \max\{a, b, c\} \right) \vee \\ &\vee \left(\sum_{q=1}^3 b_q > \max\{a, b, c\} \right) \vee \\ &\vee \left(\sum_{q=1}^3 c_q > \max\{a, b, c\} \right). \end{aligned} \tag{16}$$

Если элементы или наборы элементов удовлетворяющие (15) или (16), соответственно, существуют, то их необходимо удалить а priori или в процессе решения задачи. Аналогично, используя схему последовательного анализа вариантов, удаляем варианты, общая функциональность или мощность которых меньше минимально возможной, а также те, стоимость которых превышает допустимую величину.

Поскольку необходимо найти оптимум функции, заданной таблично, при указанных ограничениях, и о свойствах которой ничего не известно, то нам представляется рациональным применения эволюционного моделирования. Выбор метода эволюционного моделирования является прерогативой исследователя.

Предположим, что мы используем генетический алгоритм [15]. Известно, что его реализацию сопровождают две проблемы: формирование целевой функции и представление потенциальных решений в виде бинарных хромосом. В нашей задаче целевая функция уже получена. Для формирования хромосом-решений предложим такой подход. Поскольку решение является набором из m элементов, то и длина хромосомы будет m . Каждая ее позиция отвечает одному элементу аварийно-спасательной техники. Все элементы хромосомы принадлежат одному классу.

Каждый элемент имеет 4 фрагмента. Первый соответствует значению функциональности, второй – мощности, третий – надежности, а четвертый – стоимости. Таким образом, хромосома-решение будет иметь $3m$ фрагментов. На начальном этапе все значения характеристик элементов были нормированы, их значения находятся в отрезке $[0,1]$. Далее применяются все известные процедуры генетического алгоритма. Заметим, что полученное решение может не соответствовать ни одному потенциальному варианту. Тогда необходимо найти ближайшее к нему решение по критерию минимума среднеквадратического расстояния. Применение генетического алгоритма предпочтительно в том случае, когда известны значения частных критериальных функций. Для решения задачи рациональным также является применение эволюционных стратегий [17] с использованием направленного случайного поиска решения и метода анализа иерархий Саати [20].

8. Элементы информационного сопровождения процесса решения задачи

Процесс решения задачи комплектования аварийно-спасательной техники базируется на использовании информационной базы. Поскольку постоянно появляются новые образцы техники и носителей, на которые она устанавливается, то необходимо учитывать фактор динамичности при проектировании и использовании информационной базы. Кроме того, ее разработка должна основываться на следующих принципах:

- системности, предусматривающий упорядочение номенклатуры техники по определенному перечню типов и другим критериям;
- мобильности, в котором отражены возможность установки элементов техники на различные виды носителей;

– открытости, что позволит осуществлять коррекцию информационной базы в зависимости от необходимости, а также добавлять или удалять данные об определенных типах техники;

– информационного единства, определяющий единый формат представления данных для различных вариантов техники.

Реализация указанных принципов позволит сформировать информационную базу и предложить ее структуру в виде кортежа следующих элементов:

$$IB = \langle N, ID, A, B, C, S, R, P, Z, t \rangle,$$

где N – номер изделия, ID – его название (идентификатор), A, B, C – габаритные размеры, S – тип аварийной ситуации, где используется изделие (возможно, S является вектором, что связано с многофункциональностью отдельных изделий), R – определяет уровень использования изделия (очевидно, что $R = R(S)$), P – мощность изделия (возможно учитывать различные единицы мощности), Z – цена изделия, t – время формирования записи об изделии. Последний параметр нужен для отслеживания тенденций о цене аварийно-спасательной техники. Заметим, что записи, об одном виде техники и его разные цены в разные моменты времени должны оставаться в информационной базе. Разработка принципов ведения такой базы, а также ее структуры является необходимым условием решения задачи комплектования аварийно-спасательной техники.

9. Выводы

В статье выполнена формализованная постановка задачи комплектования аварийно-спасательной техники, которая редуцирована к задаче многокритериальной оптимизации. Поскольку ее решение представляет собой вариант комплектования, который со временем подлежит модернизации, то разработан комплекс моделей, сопровождающий полученное решение по этапам его жизненного цикла. Рассмотренные модели позволяют построить область потенциальных решений и, что особенно важно, обеспечить возможность смены номенклатуры техники во времени, обеспечивая ее адаптивные свойства.

Для определения оптимальности варианта комплектования аварийно-спасательной техники построена целевая функция на основе аддитивной свертки. Поскольку рассматриваемая задача является задачей дискретной оптимизации и количество возможных вариантов комплектования является значительным, предложено для ее решения использовать композицию эволюционных методов, метода анализа иерархий и теории нечетких множеств, для чего разработаны процедуры предварительной подготовки данных. Разработана структура информационной базы, являющейся информационной основой процессов поддержки принятия решений.

Литература

1. Snytyuk, V. Problem and mathematical models for rescue technics acquisition [Text] / V. Snytyuk, P. Kucher // International Journal "Information Theories and Applications". – 2014. – Vol. 21, Issue 1. – P. 60–64.
2. Zadeh, L. A. Fuzzy logic, neural network and soft computing [Text] / L. A. Zadeh // Communications of the ACM. – 1994. – Vol. 37, Issue 3. – P. 77–84.
3. Snytyuk, V. Evolutionary technique of shorter route determination of fire brigade following to fire place with the optimized space of search [Text] / V. Snytyuk, O. Dghulay // Information Technologies and Knowledge. – 2007. – Vol. 1, Issue 4. – P. 325–332.
4. Снитюк, В. Е. Эволюционные технологии принятия решений при пожаротушении [Текст] / В. Е. Снитюк, А. Н. Джулай, А. А. Быченко. – К.: Маклаут, 2008. – 268 с.
5. Землянський, О. М. Моделі та еволюційні методи оптимізації структури систем пожежного моніторингу будівель і споруд [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. М. Землянський. – Київ, 2012. – 22 с.
6. Землянський, О. М. Інформаційна технологія прогнозування концентрації небезпечної хімічної речовини при аварійному викиді в умовах невизначеності [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / О. М. Землянський – Черкаси, 2014. – 20 с.
7. Снитюк, В. Е. Моделирование и прогнозирование процессов на рынке недвижимости [Текст] / В. Е. Снитюк, О. Н. Мирошник. – Черкассы: "Чабаненко", 2014. – 416 с.
8. Lodi, A. Recent advances on two-dimensional bin packing problems [Text] / A. Lodi, S. Martello, D. Vigo // Discrete Applied Mathematics. – 2002. – Vol. 123, Issue 1–3. – P. 379–396. doi: 10.1016/s0166-218x(01)00347-x
9. Silvano, M. Knapsack problems [Text] / M. Silvano, P. Toth. – Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1990. – 221 p.
10. Кучер, П. Формализация задачи комплектования и эволюционные аспекты ее решения [Текст] / П. Кучер, В. Снитюк // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 268–273.
11. Волкович, В. Л. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем [Текст] / В. Л. Волкович, А. Ф. Волошин и др. – К.: Наук. думка, 1993. – 312 с.
12. Черноуцкий, И. Г. Методы принятия решений [Текст] / И. Г. Черноуцкий. – СПб.: BHV, 2005. – 416 с.
13. Волошин, О. Ф. Теория принятия решений [Текст] / О. Ф. Волошин, С. О. Мащенко – К.: Киевский университет, 2006. – 304 с.
14. Михалевич, В. С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем [Текст] / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
15. Holland, J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence [Text] / J. H. Holland. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.

16. Michalewicz, Z. Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs [Text] / Z. Michalewicz. – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1996. – 387 p. doi: 10.1007/978-3-662-03315-9
17. Rechenberg, I. Evolutionsstrategie “94” [Text] / I. Rechenberg. – Stuttgart-Bad GannStatt: Frommann Halzboog, 1994. – 434 p.
18. Тимченко, А. А. Основы информатики системного проектирования объектов новой техники [Текст] / А. А. Тимченко, А. А. Родионов. – К.: Наук. думка, 1991. – 231 с.
19. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2003. – 392 с.
20. Саати, Т. Аналитическое планирование организации систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

Показано, що параметри об'єктів ливарного виробництва належать, як правило, до важковимірюваних, що створює серйозні метрологічні проблеми при організації АСУ такими процесами. Запропоновано систему вибору метрологічного забезпечення, яке містить отримання просторово-часового відображення від об'єкта та його згортки до результату вимірювання, засновану на класифікації за допомогою нейронних мереж Кохонена з відкритою множиною класів

Ключові слова: складні системи, метрологічне забезпечення, параметри, які важко вимірюються, карта Кохонена

Показано, что параметры объектов литейного производства относятся, как правило, к трудноизмеримым, что создает серьезные метрологические проблемы при организации АСУ такими процессами. Предложена система выбора метрологического обеспечения, включающая получение пространственно-временного отображения от объекта и его свертки к результату измерения, основанная на классификации с помощью нейронных сетей Кохонена с открытым множеством классов

Ключевые слова: сложные системы, метрологическое обеспечение, трудноизмеримые параметры, карта Кохонена

УДК 006.91:004.942

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.32420

ВЫБОР МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ТРУДНОИЗМЕРИМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Г. А. Оборский

Доктор технических наук, профессор
Кафедра металлорежущих станков,
метрологии и сертификации*

E-mail: rector@opu.ua

А. Л. Становский

Доктор технических наук, профессор
Кафедра нефтегазового и химического машиностроения*

E-mail: stanovsky@mail.ru

И. В. Прокопович

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра технологии и управления литейными процессами*

E-mail: igor.prokopovich@gmail.com

М. А. Духанина

Кафедра нефтегазового и химического машиностроения*

E-mail: marianna.dukhanina@gmail.com

*Одесский национальный политехнический университет
пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

1. Введение

Для эффективного управления современным литейным производством человеко-машинная АСУ должна получать от всех его переделов как можно больше *on-line* информации. Это обстоятельство предполагает наличие в составе АСУ постоянно действующей разветвленной метрологической подсистемы. Она должна успешно работать с трудноизмеримыми,

то есть быстроизменяющимися, многомерными, широкодиапазонными, физически труднодоступными, зачастую искусственно скрывааемыми персоналом и «отложенными» во времени параметрами.

Очевидно, что такая метрологическая подсистема должна быть адаптивной с точки зрения методов измерений ко всему многообразию литейных объектов (от холодного дерева до горячего металла) и ко всем изменениям, которым эти объекты подвергаются в