

УДК 658.382

М.В. Жарикова

Херсонский национальный технический университет, Украина
Украина, 73000, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24

Сценарный подход в системе охраны леса от пожаров

M.V. Zharikova

Kherson National Technical University, Ukraine
Ukraine, 73000, c. Kherson, Berislavskoje highway

Scenario Approach in the Forest Fire Protection System

М.В. Жарікова

Херсонський національний технічний університет, Україна
Україна, 73040, м. Херсон, Бариславське шосе, 24

Сценарний підхід у системі охорони лісу від пожеж

В статье описывается применение метода рассуждений на основе сценариев в системе охраны леса от пожаров. Приведен обзор существующих зарубежных систем охраны леса от пожаров. Выделены структурные составляющие рассуждений на основе сценариев в системе охраны леса от пожаров, а также их взаимосвязь. Описывается построение матрицы риска, отображающей пространственное распределение вероятностей возникновения пожара и ущерба от пожара. Приведена диаграмма классов для описания сценария.

Ключевые слова: сценарий, лесной пожар, система охраны леса от пожаров.

The applying of scenario-based reasoning in the forest fire protection system is described in the article. The overview of existing foreign forest fire protection systems is represented. The structural parts of scenario-based reasoning in the forest fire protection system and their interdependence are marked out. The creation of the risk matrix which depicts spatial distribution of fire outbreak probabilities and fire damage is described. The class diagram for scenario description is depicted.

Key words: scenario, forest fire, forest fire protection system.

У статті описується застосування методу міркувань на основі сценаріїв у системі охорони лісу від пожеж. Наведено огляд існуючих закордонних систем охорони лісу від пожеж. Виділено структурні складові міркувань на основі сценаріїв у системі охорони лісу від пожеж, а також їх взаємозв'язок. Описується побудова матриці ризику, що відображає просторовий розподіл ймовірностей виникнення пожежі та збитків від пожежі. Наведена діаграма класів для опису сценарію.

Ключові слова: сценарій, лісова пожежа, система охорони лісу від пожеж.

Введение

Охрана лесов от пожаров – это совокупность действий, направленных на уменьшение влияния лесных пожаров на природные ресурсы, экосистемы, а также окружающую среду в соответствии с целями организации, осуществляющей управление [1-5].

Охрана лесов от пожаров предполагает знание вероятных последствий пожаров, определение материальных ценностей, находящихся под угрозой, материальных затрат на пожарную деятельность, принятие решений и повседневную деятельность, направленную на достижение установленных задач по управлению ресурсами.

Особенности предметной области. Предметная область, исследуемая в данной статье, связана с таким природным явлением, как лесной пожар, который разви-

вается в природных условиях. Как известно, системы, связанные с моделированием реальных природных процессов, отличаются особой сложностью и неопределенностью. Пожар является самоорганизующимся природным процессом, протекающим в условиях гетерогенной среды. Поведение пожара зависит от множества характеристик этой среды, которую невозможно точно смоделировать, что приводит к неточности и неполноте данных, описывающих динамику пожара. В процессе принятия решений по охране леса от пожаров требуется анализ сложных неопределенных ситуаций с целью оценки влияния на них множества возможных альтернатив. Принятие решений по охране леса от пожаров требует разработки и внедрения новых моделей, методов и информационных технологий, способных обрабатывать не только числовые параметры, но также и опыт экспертов [6].

Задача поддержки принятия решений по охране леса от пожаров является слабо формализуемой, допускающей некоторый произвол при формулировке. Строгие математические методы не соответствуют уровню строгости ее формулировки. Таким образом, для решения задачи поддержки принятия решений по охране леса от пожаров требуется применение интеллектуальных методов. В статье предлагается применение сценарного подхода для построения системы охраны леса от пожаров.

Степень научной разработанности. В мире существует множество программных продуктов, направленных на поддержку принятия решений по защите леса от пожаров.

Зарубежные аналоги. Министерство природных ресурсов Канады в настоящее время оперирует двумя национальными информационными системами для управления лесными пожарами [7]: канадская информационная система по лесным пожарам (*Canadian Wildland Fire Information System – CWFIS*) и система моделирования, мониторинга и картирования пожаров (*Fire M3*). Обе системы в качестве составной части включают классификацию лесных участков для упрощения работы работников лесничеств. Эти системы основаны на компонентах канадской системы оценки лесной пожарной опасности (*Canadian Forest Fire Danger Rating System – CFFDRS*) [8] и используют движок системы пространственного управления пожарами (*Spatial Fire Management System – sFMS*) [7-12] для получения, управления, моделирования, анализа и презентации данных. Метеорологические параметры с точечных источников измерений (сеть Канады и северной части США насчитывает около 900 метеорологических станций) интерполируются для получения пространственной детализации ячеек в 1 км.

В США в 1972 г. была создана система *National Fire Danger Rating System – NFDRS* [13]. Структура американской системы представляет собой абстрактную модель влияния различных факторов и условий на процесс возникновения и распространения пожаров.

В Австралии наиболее распространенными являются две системы, используемые в охране леса от пожаров: показатель лесопожарной опасности (*Forest Fire Danger Index – FFDI*) МакАртура, используемый в восточной части Австралии, и таблицы динамики лесных пожаров (*Forest Fire Behaviour Tables – FFBT*), используемые в Западной Австралии [14]. Исследования МакАртура, проведенные в период с конца 1950-х годов по начало 1960-х, привели к разработке показателя лесопожарной опасности (*Forest Fire Danger Index – FFDI*) [15] и показателя луговой пожарной опасности (*Grassland Fire Danger Index – GFDI*) [16]. Они были разработаны и апробированы в юго-восточной Австралии. Метод МакАртура оценки пожарной опасности, как и Канадский, основан на статистическом анализе больших объемов эксперименталь-

ных данных. Эксперименты МакАртура, проведенные на луговой растительности и в эвкалиптовых лесах, заключались в преднамеренном поджигании ЛГМ и наблюдении за пожаром в течение 15 – 60 мин [15-17]. FFDI позволяет прогнозировать вероятность возникновения пожара, скорость его распространения, его интенсивность, сложность его ликвидации. На основе индекса FFDI исследовательская группа CSIRO по лесным пожарам разработала компьютерную систему SiroFire (2004) – приложение поддержки принятия решений для PC-компьютера [18].

Следует отметить итальянскую систему CHARADE, направленную на поддержку принятия решений во время тушения лесного пожара, которая разработана Авесани, Перрини и Риччи [19-22]. Поддержка принятия решений состоит в оценке ситуации при пожаре и построении оперативного плана тушения и основана на прецедентном подходе (*CBR – case-based reasoning*). Система направлена на решение двух основных задач: составление плана тушения в случае лесного пожара и тренировка персонала, участвующего в тушении лесных пожаров. При моделировании системы CHARADE прецедентный подход был скомбинирован с ГИС для отображения пространственных данных. Для адаптации выбранного прецедента реальной ситуации был использован метод удовлетворения ограничений (*constraint satisfaction*). Для усовершенствования шага оценки близости прецедента реальной ситуации был использован метод взвешивания характеристик.

Российские аналоги. В России создаются программные продукты для автоматизации отдельных направлений деятельности, связанной с защитой леса от пожаров. Наиболее известными российскими системами являются Информационная система мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) и Информационная система «Лесной дозор» [23-25].

Задачами ИСДМ-Рослесхоз являются:

1. Информационное обеспечение управленческих решений Рослесхоза.
2. Мониторинг пожарной опасности и лесных пожаров Московской области.
3. Контроль за мониторингом пожарной опасности и лесных пожаров субъектов Российской Федерации.
4. Контроль за переданными полномочиями в области лесных отношений.
5. Государственные информационные услуги в части мониторинга пожарной опасности и лесных пожаров.

Информационная система «Лесной Дозор» – это программно-аппаратный комплекс для мониторинга леса различными способами.

Программная платформа «Лесной Дозор» выполняет следующие функции:

1. Управление базой данных пользователей.
2. Определение координат возгораний.
3. Многопользовательская работа с сетью камер в конкретном регионе.
4. Распределение сбалансированной нагрузки на канал.
5. Синхронизация данных между пользователями.
6. Управление сетью датчиков (видеокамер, инфракрасных камер, тепловизоров) на расстоянии.
7. Работа с интерактивной картой.
8. Определение координат пожара, его направления.
9. Администрирование системы.

В разрабатываемой системе, в отличие от аналогов, объединяются задачи предупреждения, тушения и ликвидации последствий лесных пожаров.

Целью статьи является описание сценарного подхода к построению системы охраны леса от пожаров.

Сценарный подход. Сценарии применяют для решения задач, связанных с неопределенностью, где существует необходимость выполнения действий, расстановки приоритетов, принятия решений [26]. Метод рассуждений на основе сценариев (РОС) использует вымышленные будущие сценарии для того, чтобы помочь лицам, принимающим решение, (ЛПР), увидеть основные виды неопределенностей, с которыми они могут столкнуться. Сценарии позволяют представить последствия различных траекторий движения системы и наметить способы учета неопределенности. Под сценарием понимается целенаправленная модель, описывающая динамику ситуации.

Структурные составляющие рассуждений на основе сценариев в системе охраны леса от пожаров. Будем различать сценарии лесного пожара S_j и объекты o_j , находящиеся под воздействием сценариев.

Объекты – все, подверженные действию пожара, статические природные или искусственные сущности, находящиеся внутри исследуемой территории.

Множество объектов $O_j = \{o_1, \dots, o_n\}$, подвергающихся модификациям под воздействием сценария S_j , может состоять из объектов различной природы, таких, как постройки, дороги, лесные насаждения. Каждый объект должен иметь функцию влияния, которая определяет количественное значение степени модификаций объекта в результате реализации сценария. Нас интересует ущерб, наносимый объекту, то есть функция влияния будет отображать ущерб. В связи с этим назовем функцию влияния *функцией ущерба*. Пример функции ущерба для участка леса, подверженного действию пожара:

$$d = \begin{cases} \Delta p * \Delta v, & \text{если скорость пожара} \geq 3 \frac{\text{м}}{\text{мин}}, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

где Δp – величина, на которую уменьшилась стоимость древесины, в результате ухудшения ее качества,

Δv – величина, на которую уменьшился объем древесины в результате преждевременной рубки, вызванной пожаром.

Каждый *сценарий* представляет собой реализацию события на определенном участке местности, и описывается вероятностью, с которой оно может произойти.

Сценарий будет состоять из следующих частей:

- 1) условия (исходные данные),
- 2) события (пожар),
- 3) альтернативы.

Каждая из составных частей сценария описывается набором переменных.

Условия (исходные данные) содержат набор переменных, которые не зависят от других переменных. Это переменные, описывающие таксацию леса, метеорологические условия, топографию местности, расположение и количество сил и средств для тушения пожара, антропогенную нагрузку на лес.

Событие (пожар) описывается такими переменными, как объект-источник пожара $o_s \in O_j$, а также пожароопасность этого объекта, то есть вероятность его воспламенения. Здесь также рассматриваются характеристики, описывающие динамику пожара. Переменные, описывающие пожар, зависят от исходных данных.

Альтернатива – набор переменных, описывающих одно из возможных решений, направленных на тушение пожара. Выбор альтернативы зависит от исходных данных и от характеристик пожара.

Будем выделять два типа сценария в зависимости от цели построения:

1) сценарий, моделирующий поведение пожара в определенных условиях – сценарий пожара,

2) сценарий, моделирующий поведение пожара в определенных условиях и применение определенной альтернативы для его тушения – сценарий принятия решений (расширенный сценарий).

Сценарий пожара будет состоять из двух составных частей: условия и события. Сценарий принятия решений будет состоять из трех составных частей: условия, события и альтернативы.

Взаимосвязь структурных составляющих рассуждений на основе сценариев. Рассмотрим сценарий первого типа: сценарий пожара, состоящий из двух частей: исходные данные и событие. Событие описывается объектом-источником пожара $o_s \in O_j$, имеющим определенную вероятность воспламенения, которая рассчитывается на основе исходных данных и модели пожароопасности. Источник пожара может перерасти в пожар, поведение которого описывается с помощью модели распространения пожара на основе исходных данных. Другими словами, поведение пожара, а следовательно, ущерб от него, определяется объектом-источником пожара и исходными данными с использованием соответствующих моделей.

Для любой пары (объект $o_i \in O_j$, сценарий S_j) определяется условная вероятность индивидуального влияния e_{ij} и индивидуальный ущерб d_{ij} .

Если известна вероятность p_j появления сценария S_j , можно определить индивидуальную вероятность влияния k_{ij} , которая представляет собой вероятность, с которой объект o_i испытает на себе влияние сценария S_j [27]:

$$k_{ij} = e_{ij} \times p_j.$$

На основе этого основного соотношения можно определить лесопожарный риск как для сценария, так и для объекта. Первый носит название коллективного риска или риска сценария, а второй – индивидуального.

Индивидуальный риск имеет дело с одним определенным объектом, подверженным риску.

На этот объект может влиять множество сценариев. Вероятность воздействия любого сценария на объект представляет собой вероятность влияния k_i для объекта O_i .

Принимая во внимание m независимых, но взаимно не исключающих друг друга сценариев S_j , эта вероятность определяется по формуле [28]:

$$k_i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - k_{ij}) \approx \sum_{j=1}^m k_{ij}.$$

Для объекта O_i определяется ожидаемый ущерб d_i как взвешенная сумма всех индивидуальных ущербов d_{ij} :

$$d_i = \sum_{j=1}^m k_{ij} \times d_{ij}.$$

Коллективный риск относится к определенному сценарию. Каждый сценарий может влиять на множество объектов. Вероятность сценария p_j определяется явно и означает вероятность того, что данный сценарий будет иметь место. Для каждого j -го сценария определяется ожидаемое воздействие d_j , представляющее собой взвешенную сумму индивидуальных ожидаемых ущербов d_{ij} , причиняемых i -м объектам [27]:

$$d_j = \sum_{i=1}^n e_{ij} \times d_{ij}.$$

Коллективная вероятность влияния определяется по формуле:

$$k_j = p_j \sum_{i=1}^n e_{ij}.$$

Коллективный риск сценария определяется по формуле:

$$r_j = p_j \sum_{i=1}^n e_{ij} \times d_{ij}.$$

Взвешивание производится с учетом вероятности воздействия, которая представляет собой вероятность того, что объект попадет в зону действия пожара и будет подвержен влиянию пожара. Эта вероятность определяется на основе скорости пожара. Объекты, находящиеся внутри контура пожара, имеют индивидуальную вероятность воздействия, равную единице. Объекты, находящиеся за пределами контура пожара, имеют индивидуальную вероятность воздействия, равную нулю, и не вносят вклад во взвешенную сумму влияний.

При всестороннем анализе риска строится множество сценариев для рассмотрения всех возможных случаев пожара. Общий риск определяется как сумма всех рисков индивидуальных сценариев.

На основе исследования возникновения пожара каждому выделу лесничества назначается вероятность воспламенения с учетом конкретных исходных данных. Затем вероятность определяется для каждого объекта, находящегося под влиянием данного сценария, с использованием соответствующих моделей поведения пожара. В итоге, на основе исследования последствий пожара, оценивается сумма ущерба, нанесенного каждому объекту в пределах каждого сценария. Результирующие параметры объединяются в матрицу риска, отображающую отношения между всеми сценариями и объектами для данной ситуации [27].

Данная модель позволяет количественно определять пространственное распределение вероятностей возникновения пожара и ущерба от пожара. Каждая строка матрицы риска представляет собой объект, столбцы матрицы соответствуют сценариям. Каждая ячейка представляет собой отношения между сценарием и объектом, находящимся под влиянием этого сценария. Для каждого объекта в матрицу заносятся значения риска (вероятность и ожидаемый ущерб), соответствующие всем сценариям. Эти значения накапливаются в последнем столбце. Аналогично в последней строке матрицы приводятся значения влияния каждого сценария на все объекты. В нижней правой ячейке находится значение риска для всей исследуемой области. Матрица риска строится для каждой комбинации исходных данных, что позволяет легко сравнивать ситуации друг с другом.

В табл. 1 использованы следующие обозначения:

E_s – исходные данные, для которых производится анализ риска,

S_j – сценарий,

o_i – объект (любая созданная человеком или природная сущность, подверженная влиянию лесного пожара),

p_j – условная вероятность, с которой будет иметь место сценарий S_j в ситуации E_s ,

$f()$ – функция, преобразующая время распространения в вероятность распространения,

k_{ij} – вероятность того, что объект o_i будет подвержен влиянию сценария S_j ,

$\Phi()$ – функция оценки ущерба, причиняемого объекту o_i ,

d_{ij} – ущерб, причиненный объекту o_i при условии действия сценария S_j и нахождения объекта в зоне действия пожара,

k_i – вероятность того, что объект o_i будет подвержен влиянию любого пожара,

d_i – ожидаемый ущерб, причиненный всеми пожарами объекту o_i ,

k_j – ожидаемое число объектов, которые будут подвержены влиянию сценария S_j ,

d_j – ожидаемый ущерб, причиненный всем объектам, расположенным в зоне действия пожара, в результате действия сценария S_j ,

k – ожидаемое общее число объектов, подверженных влиянию лесных пожаров в ситуации E_s ,

d – ожидаемый общий ущерб в результате пожаров при исходных данных E_s .

Исходные данные определяют глобальные условия, которые влияют на риск для всей исследуемой области.

Таблица 1 – Матрица риска для исходных данных E_s

Исходные данные E_s		Сценарии						Значения риска, связанные с объектом
		S_1 p_1	S_2 p_2	...	S_j p_i		S_m p_m	
Объекты	O_1							
	O_2							
	...							
	O_i				$e_{ij} = f(\text{Fire spread})$ $k_{ij} = p_j \times e_{ij}$ $d_{ij} = \Phi(I_{ij})$			$k_i = \sum_{j=1}^m k_{ij}$ $d_i = \sum_{j=1}^m k_{ij} d_{ij}$
	O_n							
Значения риска, связанные со сценарием					$k_j = \sum_{i=1}^n k_{ij}$ $d_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} d_{ij}$			$K = \sum_{i=1}^n k_i$ $D = \sum_{i=1}^n d_i$

Для каждой пары сценарий-объект определяется условная вероятность воздействия e_{ij} и ожидаемое влияние d_{ij} . Матрица риска позволяет вычислять значения риска для сценариев и объектов, а также для всей исследуемой области путем суммирования индивидуальных вероятностей влияния и ожидаемых воздействий. С помощью матрицы для каждого объекта можно получить вероятность того, что он будет подвержен влиянию любого пожара (k_j), а также ожидаемый ущерб (d_j). Для каждого сценария может быть вычислено ожидаемое число объектов, которые будут подвержены его воздействию (k_i) и общий ожидаемый ущерб (d_i). Суммарные значения матрицы представляют собой значения риска для всей исследуемой области.

На рис. 1 отображена схема взаимодействия структурных составляющих рассуждений на основе сценариев в системе охраны леса от пожаров. Стрелками на рис. 1 отображены потоки информации.

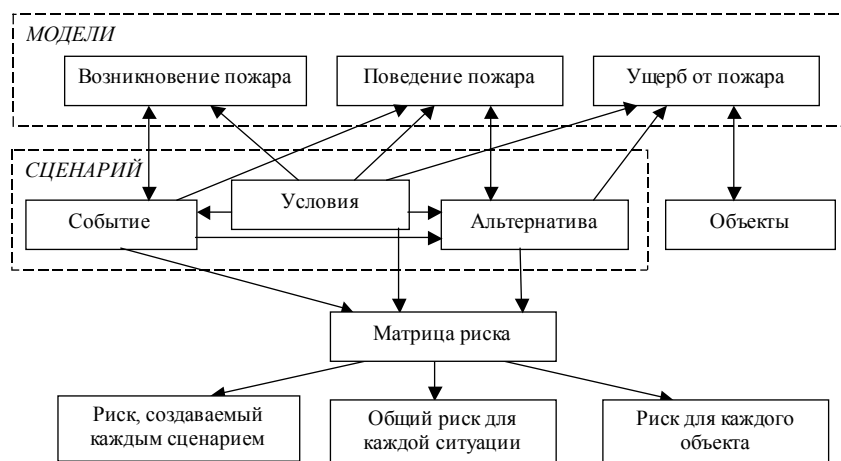


Рисунок 1 – Взаимосвязь между структурными составляющими рассуждений на основе сценариев

Диаграмма классов для описания сценария. Создадим для описания сценария отдельный класс Scenario. Создадим также классы для описания составных частей сценария, а именно входных данных, пожара и альтернативы. Назовем их InputData, Fire и Alternative соответственно.

Исходя из информации, представленной в предыдущем разделе, только класс InputData является независимым от других классов. Классу Fire необходимо передать свойства и методы класса InputData, классу Alternative – свойства и методы класса Fire, а классу Scenario – свойства и методы классов Fire и Alternative.

Свяжем основные классы, описывающие сценарий (InputData, Fire, Alternative и Scenario), с помощью композиции [28], [29]. Каждый из перечисленных основных классов будет иметь классы-потомки, связанные с основными классами посредством наследования. При этом основные классы будут абстрактными.

Класс InputData будет иметь два класса-потомка: FireSeason и NoFireSeason, описывающие входные данные для пожароопасного и не пожароопасного сезонов соответственно. Класс Fire будет суперклассом для двух классов: GroundFire и CrowningFire, описывающих низовой и верховой пожары соответственно. Класс Alternative будет иметь классы-потомки, описывающие различные виды альтернатив. Выделим два класса-потомка Alternative1 и Alternative2, описывающие тушение силами лесхоза и тушение силами лесхоза и Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС). Класс Scenario будет иметь два класса-потомка в зависимости от цели сценария: FireScenario и DecisionSupportScenario, предназначенные для описания сценария, моделирующего поведение пожара, и сценария, моделирующего поведение пожара вместе с реализацией определенной альтернативы для его тушения (рис. 2).

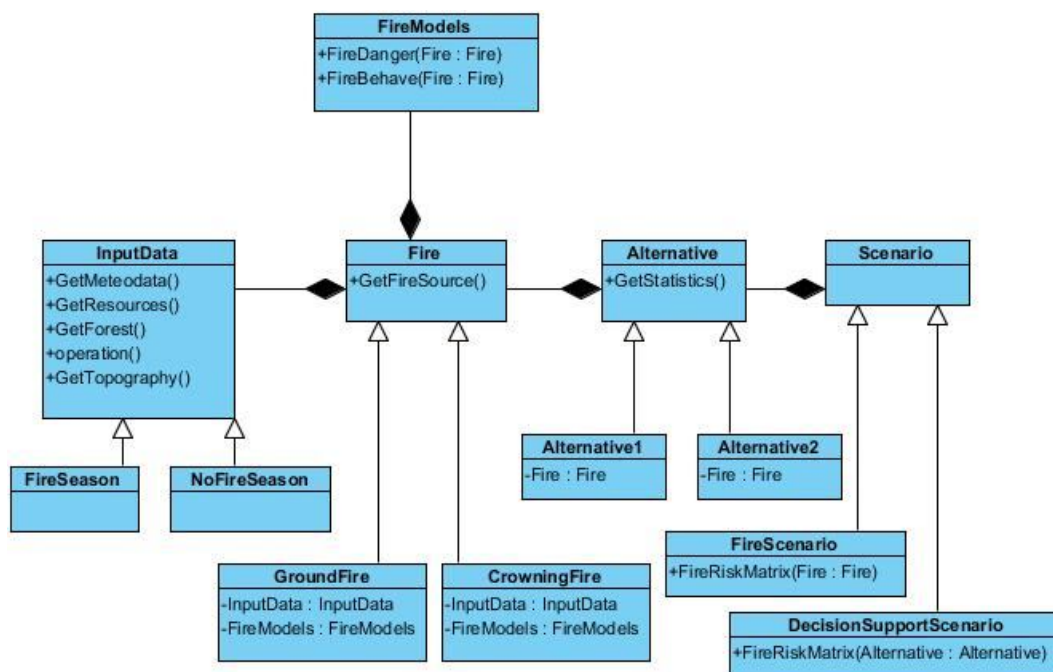


Рисунок 2 – Диаграмма классов, описывающих сценарий

Дерево атрибутов. В табл. 2 представлены наиболее важные наборы переменных, описывающих поддержку принятия решений по охране леса от пожаров.

Таблица 2 – Наборы переменных и их значение при построении сценария

	Переменные	Значение
1	INPUT	Переменные, описывающие исходные данные. Они не зависят от переменных двух других множеств, значения им присваивают эксперты.
2	DEPEND	Переменные, значения которых вычисляются на основе INPUT с использованием различных математических моделей.
3	FOCUS	Переменные, служащие для оценки альтернатив.

Чтобы структурировать проблему принятия решений и определить переменные из множества FOCUS, построим дерево атрибутов (рис. 3), отображающее взаимосвязь исходных данных и переменных из множества FOCUS. Множество FOCUS будет включать переменные, описывающие ущерб, наносимый лесным пожаром. На основании этих переменных строится матрица рисков (табл. 1).

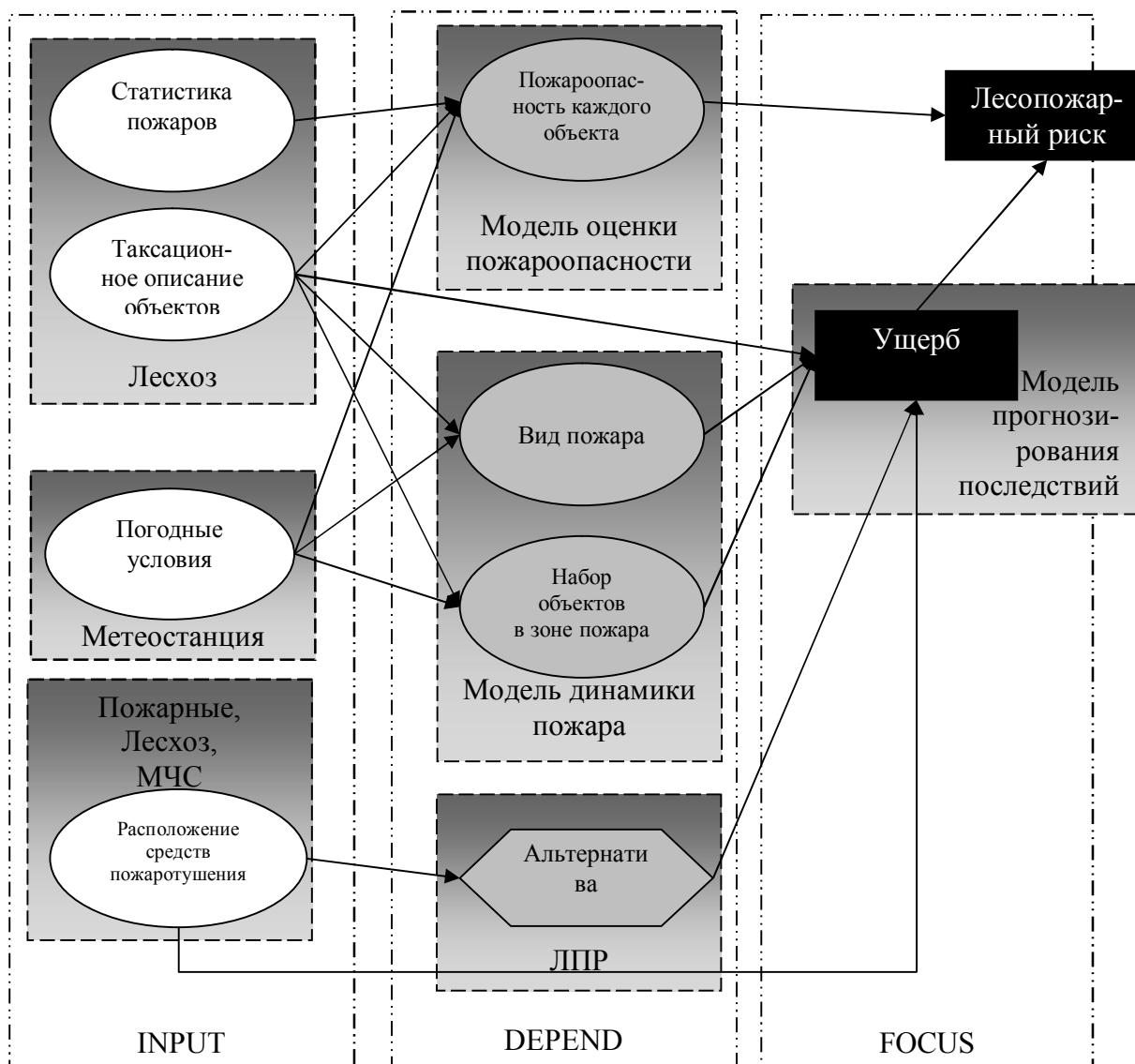


Рисунок 3 – Дерево атрибутов

Вывод

В настоящей статье рассматривается сценарный подход к построению системы охраны леса от пожаров. Такая система позволяет значительно сократить экономический, экологический и социальный ущерб от лесных пожаров за счет своевременного и объективного наблюдения за пожароопасностью леса и принятия оптимальных управленческих решений.

Литература

1. Ходаков Виктор Егорович. Лесные пожары: методы исследования / В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова. – Херсон : Гринь Д.С., 2012. – 456 с.
2. Simard A.J. Wildland fire management: the economics of policy alternatives / A.J. Simard // Forestry Technical Report 15, Department of Fisheries and Environment, Canadian Forestry Service. – 1976.
3. Памятка по организации охраны лесов от пожаров / Федеральное агентство лесного хозяйства. – М. – 2011. – 21 с.
4. Ефименко В.М. Лесная пирология : практическое пособие для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство» / В.М. Ефименко // М-во обр. РБ, Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 90 С.
5. Ball G.L. Improved fire growth modeling / G.L. Ball, D.P. Guertin // International Journal of Wildland Fire. – 1992. – № 2(2). – P. 47-54.
6. Thania Rendod Sallad. A multi-agent system framework to support the decision-making in complex real-world domains: Master's thesis / Thania Rendod Sallad. – Catalunya, 2009. – 56 p.
7. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada / [Lee B.S., Alexander M.E., Hawkes B.C. et al.]// Computers and Electronics in Agriculture. – 2002. – Vol. 37, № 1 – 2. – P. 185-198.
8. Canadian Forest Fire Danger Rating System / [Ball G.L. B.J. Stocks, M.E. Alexander, R.S. McAlpine at all.]. – Canadian Forestry service, 1987. – 500 P.
9. Taylor S.W. Science, technology and human factors in fire danger rating: the Canadian experience / S.W. Taylor, M.E. Alexander // International Journal of Wildland Fire. – 2006. – Vol. 15, № 1. –P. 121-135.
10. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada / [Lee B.S., Alexander M.E., Hawkes B.C. at all.]. // Computers and Electronics in Agriculture. – 2002. – Vol. 37, № 1 – 2. – P. 185-198.
11. Van Wagner C.E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System / C.E. Van Wagner // Petawawa. Canadian Forest Service. Technical report 35. – Ontario, 1987. – 37 P.
12. Martell D.L. A Markov Chain Model of Day to Day Changes in the Canadian Forest Fire Weather Index / D.L. Martell // International Journal of Wildland Fire. – 1999. – Vol. 9, № 4. – P. 265-273.
13. Deeming J.E. The national fire danger rating system / J.E. Deeming, K.E. Burgan, J.D. Cohen. – Ogden, Utah : USDA Forest Service, General Technical report. INT-39. – 1978. – 66 P.
14. Matthews S. A comparison of fire danger rating systems for use in forests / S. Matthews // Australian Meteorological and Oceanographic Journal – 2009. – № 58. – P. 41-48.
15. McArthur A.G. Fire behaviour in eucalypt forests / A.G. McArthur // Commonwealth of Australian Forest and Timber Bureau, Leaflet, Canberra, Australian Capital Territory. – 1967. –№ 107. – 25 p.
16. McArthur A.G. Weather and grassland fire behavior / A.G. McArthur // Leaflet 100. Forestry and Timber Bureau. Commonwealth of Australia. – 1966.
17. Cruz M.G. Field-based fire behavior research: past and future roles / M.G. Cruz , G. Gould // 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13 – 17 July. – 2009. – P. 247-253.
18. Dowby A.J. Australian fire weather as represented by the McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index / A.J. Dowby, A.M. Graham, K. Finkele, W. Groot // CAWCR Technical Report № 10. – Center for Australian Weather and Climate Research. – June 2009.
19. Avesani P. CBET: a Case Base Exploration Tool / P. Avesani, A. Perini, F. Ricci // Fifth Congress of the Italian Association for Artificial intelligence (AI* IA 97). – Springer-Verlag. – 1997. – P. 23-25.
20. Avesani P. Combining CBR and Constraint Reasoning in Planning Forest Fire Fighting / P. Avesani, A. Perini, F. Ricci // In Proceedingof 1st European Workshop on Case-Based Reassoning. – Kaiserslautern. – 1993. – P. 45-47.
21. Avesani P. Interactive case-based planning for forest fire management / P. Avesani, A. Perini, F. Ricci // Proccegings of International Conference on Case-Based Reasoning. – Sesimbra. – 2000. – P. 20-23.
22. Avesani P. The Twofold Integration in Decision Support Systems / P. Avesani, A. Perini, F. Ricci // In Proceedingof 2st European Workshop on Case-Based Reassoning. – Kaiserslautern. – 1994. – P. 35-37.

23. Барановский Н.В. Проект Web-ориентированной географической информационной системы прогноза лесной пожарной опасности с применением параллельных вычислительных технологий / Н.В. Барановский, М.В. Жарикова, Е.Н. Ляшенко // Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений : труды Международной суперкомпьютерной конференции (17 – 22 сентября 2012 г., г. Новороссийск). – М. : Изд-во МГУ, 2012. – 752 с.
24. Жарикова М.В. Концептуальный проект Web-ориентированной географической информационной системы прогноза лесной пожарной опасности / М.В. Жарикова, Н.В. Барановский, Е.Н. Ляшенко // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт : материалы Международной конференции Белокуриха, Денпасар (14 – 19 декабря 2011 г., г. Барнаул). – 2011. – С.186-190.
25. Ходаков В.Е. Проект Web-ориентированной геоинформационной системы лесного хозяйства / [В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова, Н.В. Барановский, Е.Н. Ляшенко] // Вестник ХНТУ. – 2012. – № 1 (44). – С. 72-81.
26. Chermack T.J. Improving decision-making with scenario planning / T.J. Chermack // Futures. – 2004. – № 36 (3). – P. 295-309.
27. Bachmann A. GIS-based Wildland Fire Risk Analysis : thesis (doctoral) Mathematics / Bachmann A. – Zurich, Universidad de Zurich, 2001. – 143 p.
28. Фримен Эрик. Паттерны проектирования / [Э.Фримен, Э. Фримен, К. Сьерра, Б. Бейтс]. – СПб. : Питер, 2011. – 656 с.
29. Зандстра Мэтт. PHP: объекты, шаблоны и методики программирования, 3-е изд. / [Зандстра Мэтт : пер. с англ.] – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 560 с.
30. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / Ногин В.Д. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 144 с

Literatura

1. Hodakov Victor Ye. Forest fires: research methods / V.E. Hodakov, M.V. Zharikova. – Kherson : Grin DS, 2012. – 456 p.
2. Simard A.J. Wildland fire management: the economics of policy alternatives // Forestry Technical Report 15, Department of Fisheries and Environment, Canadian Forestry Service. – 1976.
3. Guidelines on the organization of forest fire protection / Federal Forestry Agency. - M. – 2011. – 21.
4. Forest fire science: a practical guide for students of specialty 1-75 01 01 «Forest» / VM Efimenko, M of arr. Belarus, Gomel State University. F.Skorina. – Gomel GSU them. Skaryna 2009. – 90 C.
5. Ball, G.L., Guertin, D.P. Improved fire growth modeling // International Journal of Wildland Fire. – 1992. – №2(2). – P. 47-54.
6. Thania Rendod Sallad. A multi-agent system framework to support the decision-making in complex real-world domains: Master’s thesis / Thania Rendod Sallad. – Catalunya, 2009. – 56 p.
7. Lee B.S., Alexander M.E., Hawkes B.C., Lynham T.J., Stocks B.J., Englefield P. Information systems in support of wildland fire management decidion making in Canada // Computers and Electronics in Agriculture. – 2002. – Vol. 37, № 1-2. – P. 185-198.
8. Canadian Forest Fire Danger Rating System / B.J. Stocks, M.E. Alexander, R.S. McAlpine at all. – Canadian Forestry service, 1987. – 500 P.
9. Taylor S.W., Alexander M.E. Science, technology and human factors in fire danger rating: the Canadian experience // International Journal of Wildland Fire. – 2006. – Vol. 15, № 1. – P. 121-135.
10. Lee B.S., Alexander M.E., Hawkes B.C., Lynham T.J., Stocks B.J., Englefield P. Information systems in support of wildland fire management decidion making in Canada // Computers and Electronics in Agriculture. – 2002. – Vol. 37, № 1-2. – P. 185-198.
11. Van Wagner C.E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System / Petawawa. Canadian Forest Service. Technical report 35. – Ontario, 1987. – 37 P.
12. Martell D.L. A Markov Chain Model of Day to Day Changes in the Canadian Forest Fire Weather Index // International Journal of Wildland Fire. – 1999. – Vol. 9, № 4. – P. 265-273.
13. Deeming J.E., Burgan K.E., Cohen J.D. The national fire danger rating system. Ogden, Utah: USDA Forest Service, General Technical report. INT-39. 1978. – 66 P.
14. Matthews S. A comparison of fire danger rating systems for use in forests // Australian Meteorological and Oceanographic Journal 58. – 2009. – P. 41-48
15. McArthur, A.G. Fire behaviour in eucalypt forests // Commonwealth of Australian Forest and Timber Bureau, Leaflet № 107, Canberra, Australian Capital Territory. – 1967. – 25 p.
16. McArthur A.G. Weather and grassland fire behavior // Leaflet 100. Forestry and Timber Bureau. Commonwealth of Australia. – 1966.

17. Cruz M.G. Field-based fire behavior research: past and future roles / M.G. Cruz, G. Gould // 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July. – 2009. – P. 247-253.
18. Dowby A.J. Australian fire weather as represented by the McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index / A.J. Dowby, A.M. Graham, K. Finkele, W. Groot // CAWCR Technical Report № 10. – Center for Australian Weather and Climate Research. – June 2009.
19. Avesani P. CBET: a Case Base Exploration Tool / P. Avesani, A. Perini, F. Ricci // Fifth Congress of the Italian Association for Artificial intelligence (AI* IA 97). – Springer-Verlag. – 1997. – P. 23-25.
20. Avesani P. Combining CBR and Constraint Reasoning in Planning Forest Fire Fighting / P. Avesani, A. Perini, F. Ricci // In Proceeding of 1st European Workshop on Case-Based Reasoning. – Kaiserslautern. – 1993. – P. 45-47.
21. Avesani P. Interactive case-based planning for forest fire management / P. Avesani, A. Perini, F. Ricci // Proceedings of International Conference on Case-Based Reasoning. – Sesimbra. – 2000. – P. 20-23.
22. Avesani P. The Twofold Integration in Decision Support Systems / P. Avesani, A. Perini, F. Ricci // In Proceeding of 2st European Workshop on Case-Based Reasoning. – Kaiserslautern. – 1994. – P. 35-37.
23. Baranovsky N.V. Project Web-based geographic information system forecast of forest fire danger with the use of parallel computing technologies / N.V. Baranovsky, M.V. Zharikova, E.N. Ljashenko // Scientific Service in the Internet: the search for new solutions: Proceedings of the International Supercomputer Conference (17-22 September 2012, Novorossiysk). – Moscow : Moscow State University Press, 2012. – 752 p.
24. Zharikova M.V. Conceptual design of Web-based geographic information system forecast of forest fire danger / M.V. Zharikova, N.V. Baranowski, E. Ljashenko // Sustainable Development of Territories: GIS theory and practical experience: Proceedings of the International Conference Belokuriha, Denpasar (14 – 19 December 2011, Barnaul). – 2011. – P. 186-190.
25. Hodakov V.E. Project Web-based geographic information system of forestry / V.E. Hodakov, M.V. Zharikova, N.V. Baranowski, E. Ljashenko // Herald HNTU. – 2012. - № 1 (44). – P. 72-81.
26. Chermack T.J. Improving decision-making with scenario planning // Futures. – 2004. – № 36(3). – P. 295-309.
27. Bachmann A. GIS-based Wildland Fire Risk Analysis : rethesis (doctoral) Mathematics. – Zurich, Universidad de Zurich, 2001. – 143 p.
28. Eric Freeman. Design Patterns / E.Frimen, E. Freeman, C. Sierra, B. Bates. – St. Petersburg.: Peter, 2011. – 656 p.
29. Matt Zandstra. PHP: objects, patterns, and programming techniques, 3rd ed.: Trans. from English. – Moscow: OOO «ID Williams' 2013». – 560.
30. Noghin V.D. Multi-criteria decision-making in the environment: a quantitative approach. – Moscow : FIZMATLIT. - 2002. – 144.

RESUME

M.V. Zharikova

Scenario Approach in the Forest Fire Protection System

The goal of the article is a description of the scenario approach to the creation of the forest fire protection system.

A short review of the existing scientific works in the area of forest fire protection is given. Foreign and Russian analogous of the forest fire protection system are described. Canadian, American, Australian and Italian systems are marked among the foreign analogous. «Ros-Leskhoz» and «Lesnoy dozor» systems are marked among Russian systems.

The structural parts of scenario-based reasoning and their interdependence are marked out. The main structural parts are objects at forest fire risk and scenarios which consist of such parts as conditions (input data), event (fire) and alternative.

The mathematical model of the scenario-based reasoning which result in the risk matrix is developed. The risk matrix reflects spatial distribution of the probabilities of fire occurrence and fire damage.

The class diagram for scenario description is reflected.

The forest fire protection system with the scenario approach described in the article allows to decrease economic, ecological and social forest fires damage due to timely and objective forest fire danger observation and optimal decision making.

Статья поступила в редакцию 10.04.2013.