

УДК 658.382.

М.В. Жарикова

РАССУЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЦЕНАРИЕВ В СИСТЕМЕ ОХРАНЫ ЛЕСА ОТ ПОЖАРОВ

Введение. Охрана леса от пожаров включает в себя широкий спектр действий, который не ограничен только реактивными мерами, такими, как тушение пожара [1]. Управление лесными пожарами начинается значительно раньше и включает такие действия, как преднамеренное выжигание с целью предупреждения лесного пожара, просвещение и повышение осведомленности общественности в вопросах пожарной безопасности и т.д.

Согласно определению, приведенному в [2], 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. Охрана лесов от пожаров включает в себя традиционные действия по контролю за пожароопасной обстановкой (выявление, подавление огня и т.д.), а также более сложные действия (выжигание, управление ЛГМ и т.д.).

Основными задачами охраны лесов от пожаров являются выполнение мер пожарной безопасности в лесах (предупреждение лесных пожаров, мониторинг пожарной безопасности в лесах и лесных пожаров, разработка и утверждение планов тушения лесных пожаров, иные меры пожарной безопасности в лесах), обнаружение лесных пожаров, ограничение распространения, тушение и ликвидация последствий [3, 4].

Охрана и защита лесов осуществляются с учетом их биологических и иных особенностей и включают в себя комплекс организационных, правовых и других мер по рациональному использованию лесного фонда, сохранению лесов от уничтожения, повреждения, ослабления, загрязнения, и иного вредного воздействия [4].

Управление лесными пожарами предполагает знание вероятных последствий пожаров, определение ценностей, находящихся под угрозой, определение требуемого уровня охраны лесов, материальных затрат на пожарную деятельность, принятие решений и повседневную деятельность, направленную на достижение установленных задач по управлению ресурсами. Успешное пожароуправление зависит от эффективной пожарной профилактики, своевременного обнаружения пожаров, а также подготовительных работ, предоставляющих возможность успешной ликвидации пожара.

Охрана леса от пожаров должна рассматриваться как часть комплексной стратегии экологического управления, целью которого является рациональное использование природных ресурсов для улучшения качества человеческой жизни [5].

В настоящее время в лесничествах Украины накоплены большие объемы атрибутивной и картографической информации о лесных ресурсах. Однако использование ее потенциальными потребителями сдерживается по ряду причин. Основная причина – отсутствие соответствующих программных средств. До настоящего времени работники лесхозов Украины пользуются бумажными картами лесничеств, к которым прилагается бумажный вариант таксационного описания, представляющего собой толстую книгу с таблицами, содержащими характеристики всех выделов лесного фонда данного предприятия. Естественно, работать с такой книгой крайне неудобно.

Современные тенденции развития и применения информационных технологий в исследованиях природных ресурсов Земли и в процессах управления свидетельствуют о неизбежности и необходимости широкого их применения в лесном хозяйстве. Эффективное лесоустройство и защита леса от пожаров невозможны без соответствующего информационного обеспечения. Быстрое развитие вычислительной техники и информационных систем, появление геоинформационных систем (ГИС), обеспечивающих использование пространственно-распределенной разновременной информации, – это то, что необходимо для решения задач 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 [6]: 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) [7] и используют движок системы пространственного управления пожарами (Spatial Fire Management System – sFMS) [6] 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.

Канадская методика используется в различном объеме в таких странах, как США, Новая Зеландия, Фиджи, Аргентина, Мексика, Индонезия, Малайзия [8]. Система была успешно использована и в Финляндии, Швеции [8]. Канадская методика прогнозирования лесной пожарной опасности построена с учетом анализа большого количества статистических данных и достаточно точно предсказывает пожарную опасность [6-11] .

В США в 1972 г. была создана система National Fire Danger Rating System – NFDRS [12]. 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 [13]. 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) [14] и показателя луговой пожарной опасности (Grassland Fire Danger Index – GFDI) [15]. Они были разработаны и апробированы в юго-восточной Австралии. Метод МакАртура оценки пожарной опасности, как и Канадский, основан на статистическом анализе больших объемов экспериментальных данных. Эксперименты МакАртура, проведенные на луговой растительности и в эвкалиптовых лесах, заключались в преднамеренном поджигании ЛГМ и наблюдении за пожаром в течении 15-60 мин [14-16]. 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 [17].

Следует отметить итальянскую систему CHARADE, направленную на поддержку принятия решений во время тушения лесного пожара, которая разработана Авесани, Перрини и Риччи [18-21]. 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» [22-24].

Задачами ИСДМ-Рослесхоз являются:

1. Информационное обеспечение управленческих решений Рослесхоза:
 - представление всех сведений в едином картографическом интерфейсе;
 - формирование статистических и аналитических отчетов, прогнозов, обзоров;
 - унифицированная и каталогизированная база космических данных.
2. Мониторинг пожарной опасности и лесных пожаров Московской области:
 - оценка пожарной опасности по условиям погоды;
 - оценка природной пожарной опасности;
 - детектирование лесных пожаров;
 - оперативный мониторинг лесных пожаров.
3. Контроль за мониторингом пожарной опасности и лесных пожаров субъектов Российской Федерации:
 - контроль сведений о пожарной опасности;
 - контроль сведений площадей лесных пожаров;
 - контроль статистики возникновения лесных пожаров.
4. Контроль за переданными полномочиями в области лесных отношений:
 - оценка обеспеченности лесопожарными ресурсами;
 - оценка эффективности системы охраны лесов;
 - оценка эффективности работ по тушению;
 - оценка целесообразности затрат на противопожарные мероприятия;
 - контроль сведений, поступающих в лесной реестр.

5. Государственные информационные услуги в части мониторинга пожарной опасности и лесных пожаров:

- прогноз пожарной опасности;
- детектирование лесных пожаров;
- инструментарий работы с данными дистанционного мониторинга;
- сведения для внесения в лесной реестр;
- представление отчетности в электронном виде.

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

Для функционирования системы используется уже существующая инфраструктура мобильных операторов (вышки, аппаратура связи и обслуживающие команды). Т.к. система легко масштабируется и расширяется, она пригодна для обнаружения лесных пожаров как на небольших территориях, так и на больших площадях.

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:

- отображение информации о текущей ориентации камер;
- работа с важными объектами на интерактивной карте;
- отображение информации о пожаре на интерактивной карте. При этом другие пользователи могут иметь доступ к этой информации;

- отображение на единой интерактивной карте метеоданных и данных спутникового мониторинга;
- возможность интегрировать в систему данные любых географических источников.

8. Определение координат пожара, его направления.

9. Администрирование системы:

- фиксация времени работы операторов и их действий;
- позволяет операторам обмениваться быстрыми сообщениями о пожароопасной ситуации в лесах;
- блокировка управления конкретными датчиками;
- сохранение информации об обнаруженных пожарах.

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

Цель статьи. 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 [25]. 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. Таким образом, множественные сценарии предоставляют возможность учитывать развитие нескольких ситуаций, которые могут рассматриваться не независимо от того, известна или нет их вероятность. РОС практически подходит для моделирования рассуждений в условиях ситуаций, когда вероятность не может быть вычислена, то есть в ситуациях полной неопределенности, которые часто встречаются в управлении лесными пожарами.

Сценарии являются мощным средством для подготовки организаций к непредвиденным событиям, а также для преодоления инертности традиционного мышления. Кроме того, сценарии обладают рядом полезных свойств для оценки альтернатив свойств. Они состоят из ограниченного числа состояний, событий, действий и последствий. Сценарии понятны для ЛПР, так как их элементы имеют причинно-следственные связи. В данной статье описывается модель РОС в применении к системе охраны леса от пожаров.

Структурные составляющие рассуждений на основе сценариев в системе охраны леса от пожаров. Будем различать сценарии лесного пожара S_j и объекты $o_{j\alpha}$, 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. В качестве примеров таких объектов могут быть постройки, дороги, лесные насаждения. Каждый объект должен иметь функцию влияния, которая определяет количественное значение степени модификаций объекта в результате реализации сценария. Нам интересен 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:

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

где Δp – величина, на которую уменьшилась стоимость древесины, в результате ухудшения качества древесины; 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 составных частей:

- 1) условия (исходные данные),
- 2) событие (пожар),
- 3) альтернатива.

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, рассматриваемый как 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 условий.

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 событие. Сценарий принятия решений будет состоять из трех составных частей: условия, событие и альтернатива.

Взаимосвязь между структурными составляющими рассуждений на основе сценариев. Для простоты рассмотрим сценарий первого типа: сценарий пожара. Как описывалось в предыдущем разделе, такой сценарий состоит 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, который будет иметь определенное поведение. Поведение пожара определяется 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 [26]:

$$k_{ij} = e_{ij} * p_j$$

На основе этого основного соотношения можно определить 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. С точки зрения объекта не имеет значения, какой вклад вносит

каждый сценарий, однако важно знать вероятность воздействия любого сценария, которая представляет собой вероятность влияния k_i для объекта O_i . Принимая во внимание m независимых, но взаимно не исключających друг друга сценариев S_j , эта вероятность определяется по формуле [26]:

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

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

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

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 [26]:

$$d_j = \sum e_{ij} * d_{ij} .$$

Коллективная вероятность влияния определяется по формуле:

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

Коллективный риск сценария определяется по формуле:

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

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. Матрица позволяет вычислять характеристики риска, относящиеся к сценариям, объектам и исходным данным в целом [26].

Данная модель позволяет количественно определять пространственное распределение вероятностей возникновения пожара и ущерба от пожара. Выходными данными модели является матрица риска. Каждая строка матрицы 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.

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_j | ... | S_m P_m | |
| Объекты | o_1 | | | | | | | |
| | o_2 | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | |
| | o_i | | | | $e_{ij} = f(\text{Fire spread})$ $k_{ij} = p_j * e_{ij}$ $d_{ij} = \Phi(I_{ij})$ | | | $k_i = \sum_{j=1}^m k_{ij}$ $d_i = \sum_{j=1}^m k_{ij} d_{ij}$ |
| | ... | | | | | | | |
| | o_n | | | | | | | |
| Значения риска, связанные со сценарием | | | | | $k_j = \sum_{i=1}^n k_{ij}$ $d_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} d_{ij}$ | | | $K = \sum_{i=1}^n k_i$ $D = \sum_{i=1}^n d_i$ |

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.

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 рисунке отображены потоки информации.

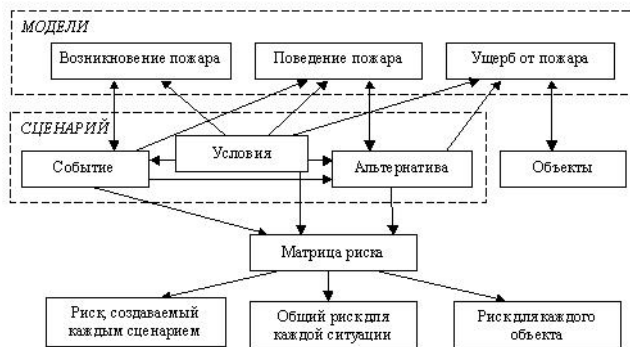


Рис.1. Взаимосвязь между структурными составляющими рассуждений на основе сценариев

Диаграмма классов для описания сценария. Создадим для описания сценария отдельный класс Scenario. Создадим также классы для описания составных частей сценария, то есть описания 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.

Создадим отдельный класс FireModels, в который поместим модели, используемые для расчета пожароопасности, а также поведения пожара.

Необходимо создать архитектуру взаимодействия классов таким образом, чтобы классы можно было легко расширять новым поведением без изменения существующего кода. Другими словами, необходимо создать архитектуру, устойчивую к изменениям и достаточно гибкую для поддержки новой функциональности.

Для реализации этой цели существует два мощных метода: композиция и наследование. И у того, и у другого метода есть как достоинства, так и недостатки. Тем не менее, злоупотребление наследованием в конечном счете может стоить гораздо дороже, нежели использование композиции.

При наследовании базовый класс определяет интерфейс, а подклассы – реализацию. Самый большой недостаток наследования заключается в том, что оно легко нарушает один из базовых принципов объектно-ориентированного программирования (ООП) – инкапсуляцию. Это связано с тем, что фактически родительский класс определяет поведение дочернего класса, а это значит, что даже незначительное изменение в родительском классе может сильно сказаться на поведении класса-потомка. Структуры на основе наследования получаются статичными, поведение задается статически на стадии компиляции программы. Кроме того, поведение должно наследоваться всеми subclasses. В дополнение к этому, повторное использование кода сильно затрудняется, если реализация родителя содержит аспекты, несовместимые с задачами потомка. Как правило, чтобы выйти из этой ситуации, необходимо провести глубокий рефакторинг кода, что не всегда возможно. На практике, чтобы избежать зависимости от реализации, предпочтительнее наследовать абстрактные классы (или интерфейсы). Тогда потомок может сам определить, каким образом реализовать свою работу.

В противовес наследованию, часто используется другой метод: композиция. Композиция объектов строится динамически за счет связывания одного объекта с другим. При таком подходе классы используются в соответствии с их интерфейсом, что не нарушает инкапсуляцию. Использование единого интерфейса позволяет в дополнение к инкапсуляции получить преимущества полиморфизма, то есть во время выполнения программы возможно один объект заменить другим, при условии, что у него такой же интерфейс. Композиция позволяет получать структуры, которые можно изменять во времени. Динамическая композиция объектов позволяет добавлять новую функциональность посредством написания нового кода (вместо изменения существующего). Так как мы не изменяем готовый код, риск введения ошибок или непредвиденных побочных эффектов значительно снижается.

Использование композиции позволяет придерживаться одного из важнейших, на первый взгляд противоречивых, принципов проектирования: классы должны быть открыты для расширения, но закрыты для изменения [27, 28]. Этот принцип позволяет создавать архитектуры, устойчивые к изменениям и достаточно гибкие для поддержки новой функциональности в соответствии с изменившимися требованиями.

Исходя из преимуществ композиции, свяжем основные классы, описывающие сценарий (InputData, Fire, Alternative и Scenario), с помощью композиции. Однако, не обойтись тут и без наследования. 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 (рис. 2). Выделим два класса-потомка Alternative1 и Alternative2, описывающие тушение силами лесхоза и тушение силами лесхоза и Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС).



Рис.2. Иерархия альтернатив тушения

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.

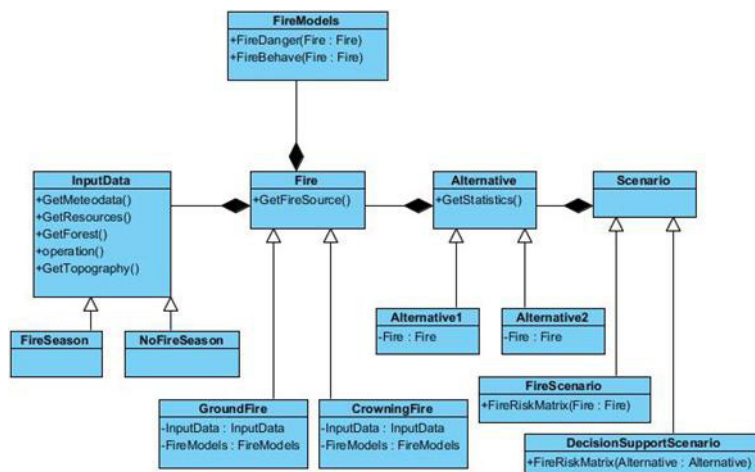


Рис.3. Диаграмма классов, описывающих сценарий

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 // 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. 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., Guertin, D.P. Improved fire growth modeling // International Journal of Wildland Fire. – 1992. – №2(2).

- P. 47–54.
6. 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 decision making in Canada // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002. Vol. 37. N 1-2. P. 185 – 198.
 7. Canadian Forest Fire Danger Rating System / B.J. Stocks, M.E. Alexander, R.S. McAlpine at all. – Canadian Forestry service, 1987. – 500 P.
 8. 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. N 1. P. 121 – 135.
 9. 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 decision making in Canada // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002. Vol. 37. N 1-2. P. 185 – 198.
 10. 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.
 11. 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. N 4. P. 265 – 273.
 12. 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.
 13. Matthews S. A comparison of fire danger rating systems for use in forests // *Australian Meteorological and Oceanographic Journal* 58. – 2009. – P. 41-48
 14. McArthur, A.G. Fire behaviour in eucalypt forests // Commonwealth of Australian Forest and Timber Bureau, Leaflet Number 107, Canberra, Australian Capital Territory. – 1967. – 25 p.
 15. McArthur, A.G. Weather and grassland fire behavior // Leaflet 100. Forestry and Timber Bureau. Commonwealth of Australia. – 1966.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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.
 19. 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.
 20. 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.
 21. 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.
 22. 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.
 23. 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.
 24. 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.
 25. Chermack T.J. Improving decision-making with scenario planning // *Futures*. – 2004. – №36(3). – P. 295-309.
 26. Bachmann, A. GIS-based Wildland Fire Risk Analysis: Thesis (doctoral) Mathematics. - Zurich, Universidad de Zurich, 2001. – 143 p.
 27. Фримен Эрик. Паттерны проектирования / Э.Фримен, Э. Фримен, К. Сьерра, Б. Бейтс. – СПб.: Питер, 2011. – 656 с.
 28. Зандстра Мэтт. PHP: объекты, шаблоны и методики программирования, 3-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 560 с.

ЖАРИКОВА Марина Витальевна – к.т.н., доцент каф. Информационных технологий Херсонского национального технического университета

Научные интересы: модальные логические исчисления, моделирование систем с распределенными параметрами.