

WEB-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОХРАНЫ ЛЕСА ОТ ПОЖАРОВ

УДК 658.382.

ЖАРИКОВА Марина Витальевна

к.т.н., доцент каф. Информационных технологий Херсонского национального технического университета

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

ЖАРИКОВ Дмитрий Викторович

аспирант каф. Информационных технологий Херсонского национального технического университета

Научные интересы: системы поддержки принятия решений.

ОДИНЦОВ Валентин Владимирович

д.ф-м.н., профессор каф. физики и методики ее изучения Херсонского государственного университета

Научные интересы: моделирование систем с распределенными параметрами.

ВВЕДЕНИЕ

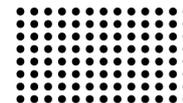
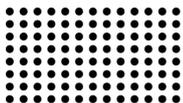
Лес – это “кладовая природы”, богатая своими возобновляемыми дарами, это способный к восстановлению природный комплекс, на котором, зачастую, держится вся экосистема. Он имеет санитарно-гигиеническое и целебное значение. Леса активно преобразовывают атмосферные загрязнения, особенно газообразные, поглощают промышленные загрязнения. Лесные пожары являются основной причиной повреждения и гибели лесов на значительных площадях. 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 лесным горючим материалом (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 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 прилагает-



ся 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.

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.

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

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Целью статьи является описание архитектуры системы охраны леса от пожаров, разрабатываемой в Херсонском национальном техническом университете, а также ее программной реализации.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ЛЕСА ОТ ПОЖАРОВ

Система защиты леса от пожаров направлена на решение трех основных задач: предупреждение лесных пожаров, предотвращение лесных пожаров и ликвидация их последствий (рис.1). Эти задачи решаются соответственно до возникновения пожара, во время пожара и после окончания пожара.

Предупреждение лесных пожаров – это задача, которая включает в себя создание и практическую реализацию математических моделей оценки пожароопасности, оценки последствий лесных пожаров, прогнозирования распространения пожаров, а также поддержку управленческих решений по планированию мероприятий, связанных со снижением пожарной опасности и ограничением распространения лесных пожаров. Пожароопасность и последствия лесного пожара являются составляющими для определения лесопожарного риска [25, 26].

Мероприятия по снижению пожарной опасности включают регулирование состава древостоев, очистку мест рубок, ликвидацию захламленности, санитарные рубки. Предупреждение (ограничение) распространения огня предполагает создание противопожарных разрывов (барьеров), минерализованных полос, противопожарных опушек. Управленческие решения по предупреждению лесных пожаров должны быть построены с учетом оценки пожароопасности, оценки последствий пожаров, а также динамики лесных пожаров, полученных с помощью соответствующих моделей.

Предотвращение лесных пожаров предполагает мониторинг возникновения и развития лесных пожаров, а также поддержку принятия решений по борьбе с ними.

Ликвидация последствий лесных пожаров представляет собой обследование гарей, анализ состояния горельников, организацию мер по улучшению санитарного состояния горельников, подготовку территории к восстановлению леса.

Так как важными функциями описываемой системы являются функции поддержки принятия решений, то система защиты леса от пожаров относится к классу систем поддержки принятия решений (СППР). Система состоит из следующих основных взаимосвязанных частей: логический блок, БЗ, БД, интерфейс пользователя. Логический блок системы содержит последовательность стадий защиты леса от пожаров, каждая из которых разбита на подзадачи (рис.1). Интерфейс пользователя представляет собой электронную карту, имеющую послонную структуру. БД содержит пространственные и атрибутивные данные о лесных ресурсах, метеорологических условиях, силах и средствах пожаротушения и т.д. БЗ содержит совокупность моделей, описывающих взаимосвязи сущностей предметной области.

Будем рассматривать ГИС защиты леса от пожаров как многоуровневую систему. Логический блок, БЗ и интерфейс пользователя разделены на следующие уровни:

- 1) уровень интерпретации данных,
- 2) уровень оценок,
- 3) уровень принятия решений.

На уровне интерпретации производится интеллектуальный анализ пространственных и атрибутивных данных из БД. В блоке интерфейса пользователя на этом уровне формируются слои с исходными данными. В настоящий момент данный уровень содержит слой таксационного описания лесничества.

На уровне оценок вычисляются показатели, необходимые для принятия решений. В БЗ на этом уровне содержатся различные модели прогнозирования и мониторинга, с помощью которых в логическом блоке вычисляются такие показатели, как пожароопасность, параметры динамики пожаров, последствия лесных пожаров и т.д. Для визуального отображения этих показателей на карте создаются промежуточные слои.

Высший уровень является уровнем поддержки принятия решений. На этом уровне в БЗ содержатся модели принятия решений. Эти модели используются в логическом блоке для планирования мероприятий по предупреждению лесных пожаров, поддержки принятия решений по борьбе с лесными пожарами, а также ликвидации их последствий. На этом уровне используются промежуточные величины (оценки), полученные

на предыдущем уровне. На основании результатов работы логического блока на уровне поддержки принятия решений создаются соответствующие слои на элек-

тронной карте, которые предоставляются пользователю.

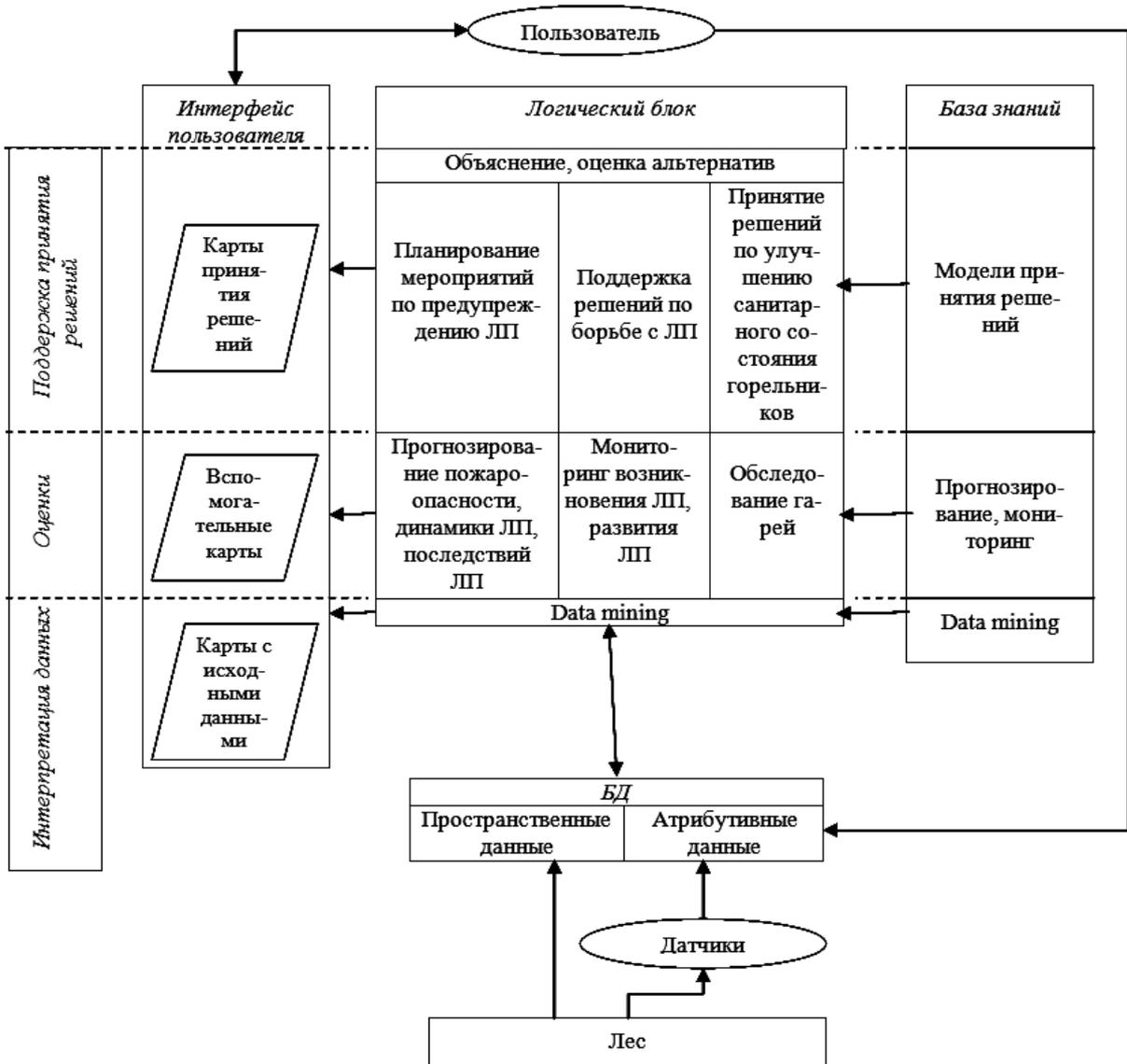


Рисунок 1 – Архитектура системы охраны леса от пожаров

ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Система охраны леса от пожаров частично реализована и апробирована на данных из Цюрупинского лесохозяйственного хозяйства, которое расположено в юго-западной части Херсонской области, Украина. Территория государственного предприятия относится к Европейской степной области, в пределах провинции южной части Русской равнины в Приазовско-Черноморском округе. Практически это южная часть

степной зоны Украины в пределах Нижнеднепровских песчаных арен.

Климат района расположения Цюрупинского лесохозяйственного хозяйства умеренно-жаркий, очень засушливый со значительно резкими амплитудами колебаний отдельных климатических элементов; жарким и сухим летом, мягкой зимой с частыми оттепелями, короткой и интенсивно протекающей весной, засухами и суховейными ветрами летом. Климатические показатели свидетельствуют о том, что климатические

условия для приживления, роста и развития культур на Нижнеднепровских песках достаточно суровые, что обусловлено в первую очередь недостаточным количеством осадков, высокой водопроницаемостью песков, относительно низкой влажностью воздуха, сравнительно большой суточной и годовой амплитудой колебания температуры воздуха и почвы, засухи и суховеи и другие негативные факторы, резко влияющие на состояние насаждений, понижая в засушливые годы их прирост, создавая затруднения лесоразведению, вызывают часто гибель лесных культур.

Среди лесных насаждений преобладают хвойные: 41,1% составляют насаждения сосны крымской, 41,7% - сосны обыкновенной. Произрастает также акация белая (13% от площади всех насаждений), береза днепровская (3,4% от площади всех насаждений), ольха, тополь, орех грецкий и другие породы. Сосновые массивы, которые составляют подавляющее большинство, являются самыми пожароопасными участками. В сово-

купности с сухим и жарким климатом они способствуют высокой пожароопасности участков лесничества.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Серверная часть программы построена на основе фреймворка django, реализованного на языке python. В качестве хранилища информации использована система управления базами данных (СУБД) PostgreSQL [27].

«Прослойкой» между базой данных и логикой программы служит ORM (object-relational mapping – объектно-реляционное отображение) Django (рис.2). Одним из преимуществ ORM является его поддержка векторных типов полей PostgreSQL при помощи geodjango. Geodjango является надстройкой над django, которая входит в состав ORM и подключается в настройках проекта. Это дает возможность определять поля модели векторных типов PolygonField, PointField и т.д.

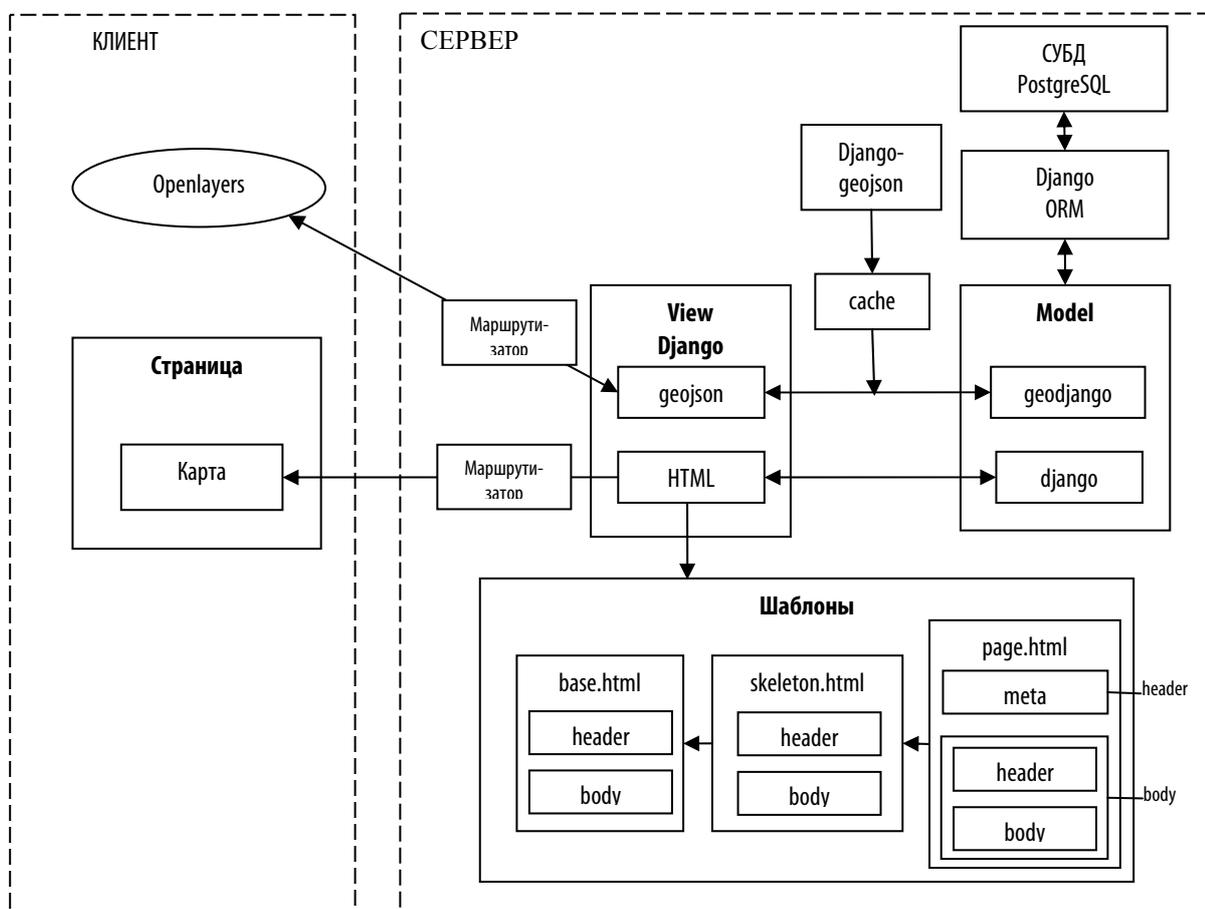


Рисунок 2 – Архитектура проекта

Все таблицы описаны в терминах модели django в файле models.py с указанием названий таблиц, перечня полей, их типов и связей. Исходя из описанной модели фреймворк создает интерфейс администратора и предоставляет все необходимые методы работы с базой данных.

Рассмотрим механизм создания страницы с картой.

Генерации любой страницы предшествует запрос от браузера определенного url-адреса. Этот запрос отправляется веб-серверу, который передает адрес системе маршрутизации django.

Маршрутизация представляет собой набор правил, описывающих все возможные варианты адресов страниц в виде шаблонов (регулярных выражений). В случае удовлетворения шаблону ему сопоставляется определенный модуль, которому передаются все переменные, входящие в состав адреса url.

Далее управление передается модулю, выполняющему две задачи:

1. формирование объекта контекста, содержащего необходимые переменные для отрисовки шаблона.
2. выбор нужного шаблона и передача ему объекта контекста.

После этого шаблонизатор отрисовывает данные в шаблоне, и модуль возвращает ответ веб-серверу, который отправляет его в браузер клиента.

Следует отметить, что система шаблонов построена на двух-уровневом наследовании, то есть шаблон страницы наследуется от шаблона общей компоновки, который, в свою очередь, наследуется от основного шаблона. В каждом шаблоне определяются специальные именные блоки, которые могут перегружаться в шаблонах-потомках. Двух-уровневая система наследования позволяет существенно расширить возможные варианты внешнего вида и компоновать блоки в различных сочетаниях.

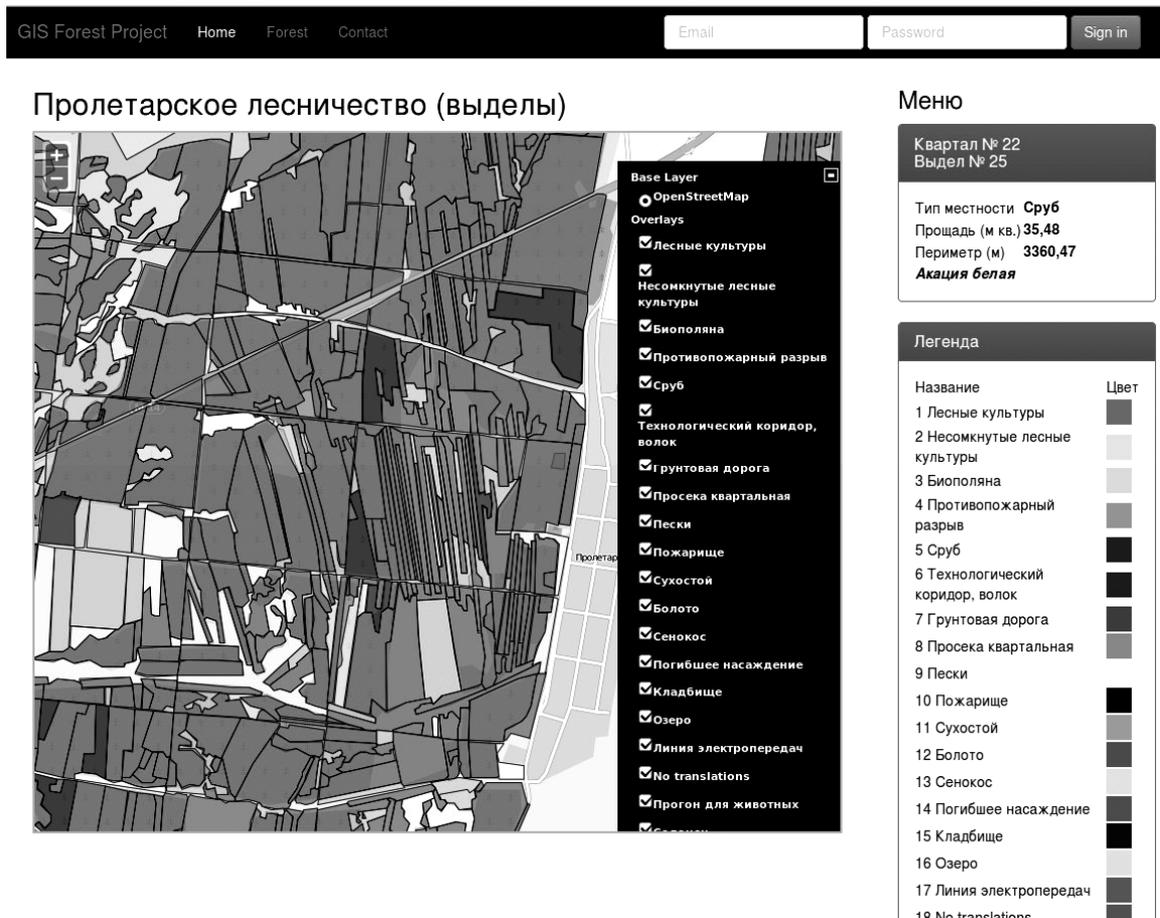
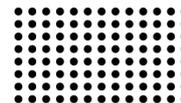
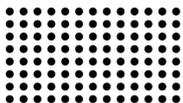


Рисунок 3 – Фрагмент карты с панелью управления слоями



Для визуализации карты используется javascript библиотека Openlayers. Она представляет собой набор скриптов, подключаемых на странице и предоставляющих программный интерфейс, который отрисовывает векторную или растровую информацию, получаемую от одного или нескольких серверов.

В нашем случае в качестве подложки используется сторонний ресурс <http://www.openstreetmap.org/>, предоставляющий картографические данные в растровом формате в виде тайлов (квадратных участков), которые выстраиваются на странице с помощью openlayers.

Информацию же о лесах openlayer получает от нашего сервера в векторном формате, описанном в виде geojson. При этом для каждого слоя карты openlayers инициирует свой ajax запрос в фоновом режиме и получает информацию о координатах каждого объекта, который отрисовывается на карте. Преобразование координат в формат geojson берет на себя плагин djeodjango. Поскольку подобные запросы могут возвращать значительные объемы информации, то для повышения производительности осуществляется кеширование возвращаемого контента в текстовые файлы с последующим их использованием. Openlayers также обеспечивает обработку кликов по участкам карты, при этом генерируется фоновый запрос к серверу и ему передаются координаты точки клика. По этим координатам определяется объект, на котором произ-

веден клик и выводится информация о нем путем замены содержимого определенного html-блока.

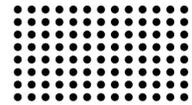
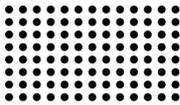
На рис.3 отображен скриншот программы с фрагментом карты Пролетарского лесничества Цюрупинского лесного хозяйства Херсонской области. Справа от карты сверху расположена информация о выбранном участке местности, который выделяется синим контуром. Снизу от информации об участке расположена легенда, на которой определены цвета для каждого слоя карты. На карте расположена выпадающая панель, на которой перечислены все слои. Слева от названия каждого слоя на панели расположен флажок, позволяющий отображать или скрывать соответствующий слой.

ВЫВОД

В настоящей статье рассматривается функциональная структура системы охраны леса от пожаров, а также ее программная реализация. В качестве дальнейшего развития модели планируется включение в систему интеллектуальных методов, которые позволяют осуществлять поддержку принятия решений для предупреждения лесных пожаров, а также их тушения. 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. Khodakov Viktor Egorovich. Lesnye požary: metody issledovanija / V.E. Khodakov, M.V. Zharikova. – Kherson: Grin' D.S., 2012. – 456 s.
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. Pamjatka po organizaciji okhrany lesov ot požarov / Federal'noe agentstvo lesnogo khozjajstva. – M. – 2011. – 21 s.
4. Lesnaja pirologija: praktičeskoe posobie dlja studentov special'nosti 1-75 01 01 «Lesnoe khozjajstvo» / V.M. Efimenko; M-vo obr. RB, Gomel'skij gosudarstvennyj universitet im. F.Skoriny. – Gomel': GGU im. F. Skoriny, 2009. – 90 S.
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 / Peta-wawa. 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. Finkle, 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 Proceedings 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 Proceedings of 2st European Workshop on Case-Based Reasoning*. – Kaiserslautern. – 1994. – P. 35-37.
22. Baranovskij N.V. Proekt Web-orientirovannoj geograficheskoy informacionnoj sistemy prognoza lesnoj pozharnoj opasnosti s primeneniem paralelnykh vychislitelnykh tekhnologij / N.V. Baranovskij, M.V. Zharikova, E.N. Ljashenko // *Nauchnyj servis v seti Internet: poiskovykh reshenij: Trudy Mezhdunarodnoj superkomp'juternoj konferencii (17-22 sentjabrja 2012 g., g. Novorossijsk)*. – M.: IZD-VO MGU, 2012. – 752 s.
23. Zharikova M.V. Konceptual'nij proekt Web-orientirovannoj geograficheskoy informacionnoj sistemy prognoza lesnoj pozharnoj opasnosti / M.V. Zharikova, N.V. Baranovskij, E.N. Ljashenko // *Ustojchivoe razvitie territorij: teorija GIS i prakticheskij opyt: Materialy Mezhdunarodnoj konferencii Belokurikha, Denpasar (14-19 dekabrja 2011 g., g. Barnaul)* – 2011. – S.186-190.
24. Khodakov V.E. Proekt Web-orientirovannoj geoinformacionnoj sistemy lesnogo khozajstva / V.E. Khodakov, M.V. Zharikova, N.V. Baranovskij, E.N. Ljashenko // *Vestnik KhNTU*. – 2012. – №1(44). – S.72-81.
25. Chermack T.J. Improving decision-making with scenario planning // *Futures*. – 2004. – №36(3). – R. 295-309.
26. Bachmann, A. GIS-based Wildland Fire Risk Analysis: Thesis (doctoral) Mathematics. - Zurich, Universidad de Zurich, 2001. – 143 p.
27. Bizli D. Python. Podrobnij spravochnik – SPb.: Simvol-Pljus, 2010. – 864 s.