

# ИНФОРМАЦИОННО-ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Н. В. БАРАНОВСКИЙ, А. М. ГРИШИН, Т. П. ЛОСКУТНИКОВА

*Томский государственный университет, Россия*

e-mail: nick\_b@ctc.tsu.ru, fire@fire.tsu.tomsk.su,

lastniko@rambler.ru

Information-prediction system for determination of the probability of forest fire initiation is considered. The system is based on general methodology of constructing the deterministic-probability models for the forecast of catastrophes. The deterministic-probability approach finds the probability using the time of drying forest fuel layer and statistical data of forestries.

## Введение

Лесные пожары наносят большой ущерб экологии, поэтому проблема прогноза лесной пожарной опасности актуальна. Лесная пожарная опасность (ЛПО) зависит от большого количества входных параметров, например метеоданных, солнечной радиации, типа и свойств лесных горючих материалов (ЛГМ), грозовой активности и антропогенной нагрузки [1]. В работах [2–4] дан сравнительный анализ методов оценки лесной пожарной опасности, применяемых в Канаде, Франции, Италии, Испании, Португалии. Установлено, что эти методы учитывают только влияние метеорологических параметров, тип ЛГМ, их реакционная способность, тип подстилающей поверхности, излучение Солнца в них не учитываются. В [2, 4] дан критический анализ применяемых сейчас в России систем прогноза ЛПО, предложенных В.Г. Нестеровым, Г.И. Коровиным и Г.А. Доррером. Основной недостаток этих систем — игнорирование реальных процессов нагревания и сушки ЛГМ, методов и понятий механики многофазных сред, что привело к ряду неточностей и ошибок. Это обуславливает необходимость разработки физически обоснованной системы прогноза ЛПО.

Следует отметить, что в Западной Сибири недостаточно развита сеть метеостанций [5]. Причем оперативная информация реально может быть получена со станций Новосибирска, Томска, Колпашево. Естественно, это очень скудная информация. Но не стоит забывать, что в последние годы уже разработаны достаточно развитые математические модели атмосферы и климата. И мы полагаем, что при создании системы прогноза возникновения лесных пожаров необходимо ориентироваться на перспективы интерактивного взаимодействия с программным обеспечением, реализующим математические модели

атмосферы, и геоинформационными системами. В настоящее время полулагранжев подход широко применяется для моделей среднесрочного прогноза погоды [6, 7]. Следует заметить, что численный гидродинамический прогноз погоды даже с грубым пространственным разрешением требует больших вычислительных ресурсов. Использование однопроцессорной компьютерной техники представляется проблематичным, поэтому следует применять многопроцессорные вычислительные системы (МВС), а значит, надо организовать интерактивное взаимодействие информационно-прогностической системы (ИПС) с данной программой [8] и геоинформационной системой [9].

Таким образом, необходимость разработки современной информационно-прогностической системы для определения вероятности возникновения лесных пожаров, которая рассматривается в данной статье, не вызывает сомнений.

## 1. Математическая постановка

При математической постановке задачи приняты следующие допущения: 1) конвективный теплообмен между слоем ЛГМ и приземным слоем атмосферы удовлетворительно описывается с помощью граничных условий третьего рода с применением известных коэффициентов конвективного теплообмена; 2) давление  $P$ , температура  $T$  и плотность  $\rho$  газовой фазы в слое ЛГМ совпадают с соответствующими метеорологическими данными  $P_e$ ,  $T_e$ ,  $\rho_e$  для данного момента времени и данной местности; 3) излучение в слое ЛГМ подчиняется закону Бугера — Ламберта; 4) испарение связанной воды и капелек воды, прилипших к элементам ЛГМ, описывается законом Герца — Кнудсена.

В работе [10] показано, что для низкотемпературной сушки ЛГМ необходимо учитывать величину парциального давления паров воды, которая становится сравнимой с давлением насыщенного пара. Кроме того, это приводит к иным значениям эффективных констант испарения  $E_2$  и  $k_2$ . Исходная одномерная математическая постановка задачи о сушке слоя ЛГМ рассматривается в работе [11]. Затем одномерная постановка была приведена к безразмерному виду. С использованием метода осреднения уравнений теплового взрыва [12] получена система обыкновенных дифференциальных уравнений, где аргументом является время [12]. Математическое обоснование этого приближенного метода решения нелинейных начально-краевых задач математической физики дано в монографии [13]. В результате получены обыкновенные дифференциальные уравнения [14]:

$$(1 + a\varphi_2) \frac{d\theta_s}{d\tau} = \frac{1}{\delta^2} (-\text{Bi}(\theta_s - \theta_e) - \frac{b\varphi_2}{\sqrt{1 + \beta\theta_s}} \left[ 1 - \pi_e \exp\left(-\frac{\theta_s}{1 + \beta\theta_s}\right) \right] \exp \frac{\theta_s}{1 + \beta\theta_s} +$$

$$+(\varphi_1 + \varphi_2)[c - d(1 + \beta\theta_s)^4] - \text{Bi}_0(\theta_s - \theta_0) - (\varphi_1 + \varphi_2)[c_0 - d_0(1 + \beta\theta_s)^4]) +$$

$$+ \frac{\bar{q}_{RW}}{\bar{k}_1} (1 - \exp(-\bar{k}_1)) - \bar{\alpha}_V(\theta_s - \theta_e) - \frac{\varphi_2}{\sqrt{1 + \beta\theta_s}} \left[ 1 - \pi_e \exp\left(-\frac{\theta_s}{1 + \beta\theta_s}\right) \right] \exp \frac{\theta_s}{1 + \beta\theta_s}, \quad (1.1)$$

$$\frac{d\varphi_2}{d\tau} = -\frac{\gamma\varphi_2}{\sqrt{1 + \beta\theta_s}} \left[ 1 - \pi_e \exp\left(-\frac{\theta_s}{1 + \beta\theta_s}\right) \right] \exp \frac{\theta_s}{1 + \beta\theta_s}, \quad (1.2)$$

$$\varphi_2|_{\tau=0} = \varphi_{2H}, \quad \theta_s|_{\tau=0} = 0. \quad (1.3)$$

Здесь и далее  $t$  — время;  $T_s$  — температура конденсированной фазы;  $T_{s0}$  — температура слоя ЛГМ на его нижней границе;  $T_e$  — температура окружающей среды;  $T_0$  — температура почвы;  $\rho_i$ ;  $C_{pi}$ ,  $\varphi_i$  — плотности, теплоемкости и объемные доли сухого органического вещества ( $i = 1$ ), свободной и связанной с сухим органическим веществом воды ( $i = 2$ );  $k'_{02} = k_{02}P_{02}$  и  $E$  — предэкспоненциальный множитель и энергия активации, характеризующая испарение свободной и связанной воды;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $q_{RW}$  — плотность потока результирующего излучения на границе раздела сред;  $q_R(h)$  — плотность потока излучения от Солнца на верхней границе слоя ЛГМ;  $q_2$  — теплота испарения единицы массы воды;  $h$  — толщина слоя ЛГМ; индекс “ $H$ ” приписывается параметрам состояния в начальный момент времени при  $t = 0$ ;  $\theta_s$  — безразмерная температура слоя ЛГМ;  $\theta_0$  — безразмерная температура почвы;  $\theta_e$  — безразмерная температура окружающей среды;  $\tau$  — безразмерное время;  $\delta^2$  — безразмерный критерий (аналог критерия Д.А. Франк-Каменецкого [15]);  $\beta$  — безразмерная величина, обратная энергии активации;  $\gamma$  — безразмерный критерий подобия, характеризующий скорость сушки слоя ЛГМ;  $Bi$  — критерий Био, характеризующий интенсивность теплообмена слоя ЛГМ с приземным слоем атмосферы;  $Bi_0$  — критерий Био, характеризующий интенсивность теплообмена слоя ЛГМ и почвы;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  — безразмерные величины, которые характеризуют объемную теплоемкость воды, тепловой эффект испарения воды, приток лучистой энергии и коэффициент черноты слоя;  $c_0 = c \exp(-\bar{k}_1)$ ,  $d_0 = d \exp(-\bar{k}_1)$  — безразмерные величины;  $\bar{\alpha}_v$ ,  $\bar{q}_{RW}$ ,  $\bar{k}_1$  — безразмерные значения объемного коэффициента теплообмена, радиационного теплового потока и коэффициента затухания излучения;  $\pi_e$  — относительная влажность воздуха. Выражения для безразмерных критериев и величин приведены в работе [16].

В работе [14] получена приближенная аналитическая формула для определения времени сушки слоя ЛГМ. Безразмерное время сушки слоя  $\tau_c$  во втором приближении [14]:

$$\tau_c = \frac{\sqrt{(1 - \pi'_{e0})^2 + 2(\theta'_{s0} - \pi'_{e0}) \frac{1}{\gamma} \ln \frac{\varphi_{2H}}{\varphi_{2*}} - (1 - \pi_{e0})}}{(\theta'_{s0} - \pi'_{e0})}, \quad (1.4)$$

где  $\pi'_{e0} = \left. \frac{d\pi_e(\tau)}{d\tau} \right|_{\tau=0}$ ;  $\theta'_{s0} = \left. \frac{d\theta_s(\tau)}{d\tau} \right|_{\tau=0}$ ;  $\varphi_{2*}$  — критическое объемное влагосодержание слоя ЛГМ.

Размерное время сушки в этом случае вычисляется по формуле [14]

$$t_c = \frac{\tau_c \rho_1 \varphi_{1H} C_{p1} R T_{sH}^{5/2}}{q_2 k'_{02} \rho_2 E} \exp\left(\frac{E}{R T_{sH}}\right). \quad (1.5)$$

Таким образом, наряду с системой (1.1) – (1.3), приближенная аналитическая формула для определения времени сушки слоя ЛГМ на подстилающей поверхности может быть использована для расчета вероятности возникновения лесного пожара по метеоусловиям.

## 2. Детерминированно-вероятностный подход определения лесной пожарной опасности

С использованием теории вероятностей и физических соображений получена формула для оценки вероятности возникновения лесного пожара [1]:

$$P_j = \sum_{i=1}^N \left[ P_{ij}(A)P_{ij}(FF/A) + P_{ij}(M)P_{ij}(FF/M) \right] P_{ij}(C), \quad (2.1)$$

где  $P_j$  — вероятность возникновения лесного пожара для  $j$ -го интервала на контролируемой лесной территории;  $F$  — площадь лесной территории конкретного лесхоза, района или области;  $F_i$  — площадь лесной территории, покрытой лесом  $i$ -го типа (по лесотаксационным описаниям это соответствует территории отдельно взятого выдела);  $N$  — общее число выделов на площади  $F$ ;  $P_{ij}(A)$  — вероятность антропогенной нагрузки;  $P_{ij}(FF/A)$  — вероятность возникновения пожара вследствие антропогенной нагрузки на территории выдела  $F_i$ ;  $P_{ij}(M)$  — вероятность возникновения сухих гроз на территории выдела  $F_i$ ;  $P_{ij}(FF/M)$  — вероятность возникновения лесного пожара от молнии при условии, что сухие грозы могут иметь место на территории выдела  $F_i$ ;  $P_{ij}(C)$  — вероятность возникновения пожара по метеоусловиям лесопожарного созревания; индекс “ $j$ ” соответствует дню пожароопасного сезона. Таким образом, значение вероятности возникновения лесных пожаров на каждом выделе складывается из суммы вероятностей возникновения лесных пожаров от антропогенной нагрузки и грозовой активности. В свою очередь вероятность возникновения лесных пожаров на всей контролируемой территории складывается из вероятностей возникновения лесных пожаров на территории отдельно взятых выделов.

Величина  $P_{ij}(C)$  определяется по формуле [11]

$$P_{ij}(C) = \frac{F_i}{F} \exp[-(\Delta \bar{t}_{ij})^2], \quad F = \sum_{i=1}^N F_i, \quad \Delta \bar{t}_{ij} = \frac{t_{ij} - t_{ij}^*}{t_{ij}^*}. \quad (2.2)$$

Правая часть (2.2) равна нулю, когда на  $i$ -й площади лесной территории нет ЛГМ (поверхность дорог, рек, озер и водонасыщенных болот) или на слой ЛГМ выпало более 3 мм осадков. При выводе (2.2) принято допущение о том, что  $P_{ij}(C)$  следует нормальному (гауссову) закону распределения вероятностей. Для определения всех членов в формуле (2.1) необходимо использовать вычисление вероятностей через частоту событий и воспользоваться статистическими данными для конкретного лесхоза. В формуле (2.1) присутствуют следующие члены [11]:

$$P_{ij}(A) \approx \frac{N_a}{N_{\text{пс}}}, \quad P_{ij}(FF/A) \approx \frac{N_{\text{па}}}{N_{\text{кп}}}, \quad (2.3)$$

$$P_{ij}(M) \approx \frac{N_m}{N_{\text{пс}}}, \quad P_{ij}(FF/M) \approx \frac{N_{\text{пм}}}{N_{\text{кп}}}, \quad (2.4)$$

где  $N_a$  — количество дней в пожароопасный сезон, когда имеется антропогенная нагрузка, достаточная для зажигания ЛГМ;  $N_{\text{па}}$  — количество пожаров от антропогенной нагрузки;  $N_{\text{кп}}$  — общее количество пожаров;  $N_m$  — число дней, в которые имели место молнии (при сухих грозах);  $N_{\text{пс}}$  — общее число дней пожароопасного сезона;  $N_{\text{пм}}$  — количество пожаров от молний при сухих грозах.

С учетом современного состояния развития компьютерной техники остановим свой выбор при разработке ИПС на нульмерной математической постановке (1.1) – (1.3) и приближенной аналитической формуле (1.5). Вначале, используя входные данные, рассчитываем время сушки слоя ЛГМ по математической постановке (1.1) – (1.3) или формуле (1.5). После этого по формуле (2.2) рассчитываем вероятность лесного пожара по метеоусловиям  $P_{ij}(C)$  и остальные вероятностные множители (2.3), (2.4). Затем по формуле (2.1) в итоге

рассчитываем вероятность возникновения лесного пожара на территории данного квартала. Для определения вероятности лесной пожарной опасности на всей контролируемой территории проводится цикл расчетов по всем выделам.

В итоге прогноз ЛПО, сделанный по утренним метеоданным (прогнозируемым по глобальной модели атмосферы на конкретный день), будет актуален и останется от 12 часов до нескольких дней для принятия конкретных профилактических, упреждающих мер и приведения в готовность необходимого количества единиц специализированной техники и лесных пожарных. Система таймеров позволяет производить автоматически запуск на счет и получать прогнозную информацию без участия оператора.

Приведем примеры расчета вероятности по формуле (2.1). Рассмотрим гипотетическую лесную территорию, на которой произрастает хвойный лес соснового типа — сосняк бруснично-разнотравный. В напочвенном покрове большую часть составляет опад хвои сосны с очень малым количеством тонких сосновых веточек. Лесная территория находится в непосредственной близости к населенному пункту, что обуславливает преобладание антропогенной нагрузки. Качественно это соотносится с лесопожарной обстановкой в лесах, расположенных вблизи населенных пунктов.

На рис. 1 представлена зависимость вероятности возникновения лесного пожара в условиях ясного неба (*а*) и средней облачности (*б*). Кривые 1–3 соответственно отражают вероятность пожара для метеоусловий июня, июля и августа.

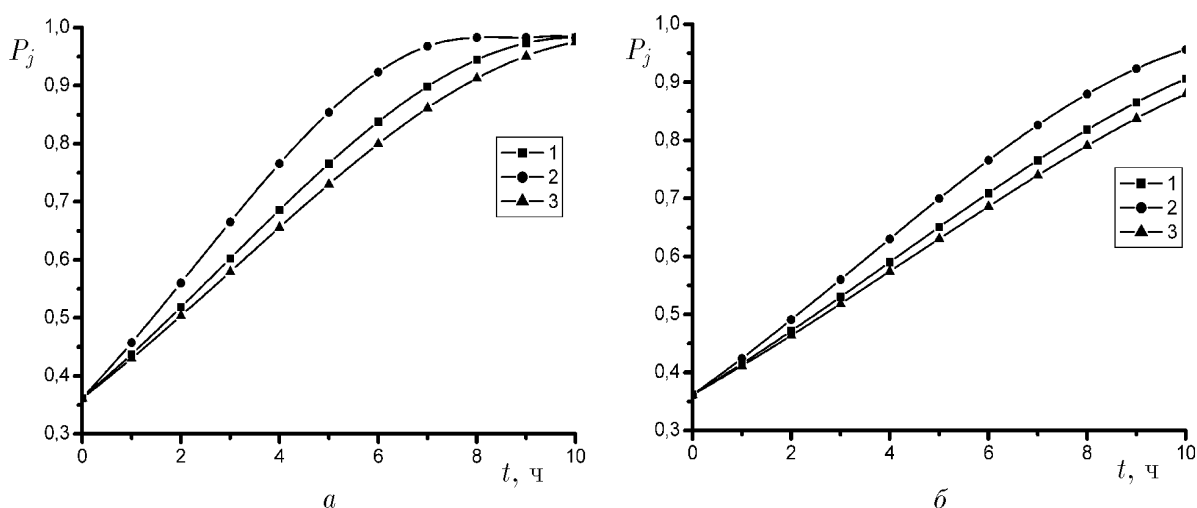


Рис. 1. Вероятность лесной пожарной опасности в условиях ясного неба (*а*) и средней облачности (*б*).

Математическая постановка (1.1)–(1.3) использована для определения времени сушки слоя ЛГМ. При ясном небе лесная пожарная опасность раньше наступает в июле, затем в июне (рис. 1, *а*) и августе, хотя суммы суммарной солнечной радиации при ясном небе в порядке убывания располагаются следующим образом: 30.16 МДж/м<sup>2</sup> в июне, 28.33 МДж/м<sup>2</sup> в июле и 22.92 МДж/м<sup>2</sup> в августе [5]. Однако высокие температуры окружающего воздуха в июле способствуют более быстрому высыханию слоя ЛГМ. Расчеты вероятности пожаров проводились с использованием приближенной аналитической формулы (1.5). В данном случае в качестве  $q_R(h)$  принималось среднее значение за сутки. Средняя относительная погрешность не превышала 10 %. При условиях средней облачности (рис. 1, *б*) ситуация коренным образом не меняется. Увеличивается время сушки слоя

ЛГМ, и лесная пожарная опасность наступает позже. Распределение по месяцам аналогично, за исключением того, что кривые вероятностей ложатся чуть ближе друг к другу, что объясняется меньшим различием в суммах солнечной радиации при средних условиях облачности.

На рис. 2 показаны суточный ход температуры воздуха (а) и зависимость вероятности лесной пожарной опасности (б) для июня. Кривые 1–3 отражают соответственно сценарии низкой, средней и высокой пожарной опасности.

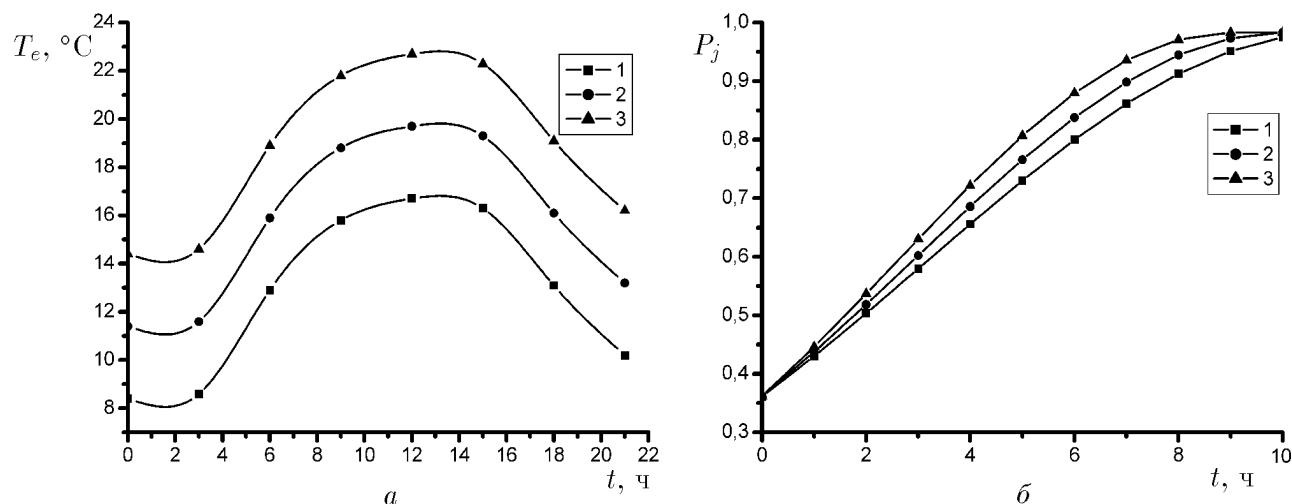


Рис. 2. Суточный ход температуры окружающей среды [5] (а) и вероятность лесной пожарной опасности (б) на июнь.

Кривые 2 соответствуют средней месячной температуре и отвечают сценарию средней пожарной опасности. Кривые суточного хода 1, 3 для определенности принимались на  $3^\circ\text{C}$  ниже и выше кривых суточного хода среднемесячной температуры. Такой выбор обусловлен тем, что это обеспечивает превышение средней максимальной температуры на несколько градусов (кривая 3), минимальные температуры по кривым 1 также меньше средней минимальной на несколько градусов. Таким образом, данные условия вполне могут быть в реальных ситуациях. Анализ полученных результатов показывает, что более высокие температуры окружающей среды обеспечивают и более быстрое наступление лесной пожарной опасности. В июне и августе влияние температуры окружающей среды практически одинаково. Закономерным результатом является и более быстрое наступление лесной пожарной опасности при сценарии высокой пожарной опасности и более медленное при сценариях средней и низкой пожарной опасности. Следует заметить, что на данный момент учет осадков реализован в методике достаточно грубо, так как при выпадении 3 мм осадков вероятность принимает нулевое значение. Однако, как свидетельствуют результаты работы [17], не всегда достаточно выпадения 3 мм осадков, чтобы участок леса не был пожароопасным. При увеличении начального влагосодержания слоя ЛГМ время сушки увеличивается, что соответственно приводит к более позднему наступлению лесной пожарной опасности. Изменение времени сушки слоя ЛГМ и вероятности возникновения лесного пожара адекватным образом отражает влияние входных метеоданных.

### 3. Описание информационно-прогностической системы

Рассматриваемая в настоящей работе методика прогноза лесной пожарной опасности реализована в виде ИПС с использованием интегрированной среды разработки Delphi. Информационно-прогностическая система создана для различных версий операционной системы MS Windows. При разработке компьютерной программы использованы следующие технологии: GUI (графический интерфейс пользователя), Интернет-технологии, система управления базой данных Paradox 7, технологии гипертекста и гиперссылок.

Данная программа предназначена для определения вероятности возникновения лесных пожаров на контролируемой территории. Используются детерминированно-вероятностная методика определения возможности возникновения лесных пожаров и статистика лесных пожаров конкретного лесхоза. В результате работы программы создается файл результатов, содержащий информацию о распределении вероятности возникновения лесных пожаров по контролируемой территории. Данная информация затем может быть визуализирована в географической информационной системе [9]. В момент установки в программе имеется информация только по константам. Затем необходимо провести конфигурирование системы, т. е. установить параметры, отвечающие за число лесничеств, кварталов и выделов конкретного лесхоза. На основе анализа статистических данных о возникновении лесных пожаров по лесхозу определяются значения вероятностей (2.3)–(2.6) и заносятся в систему. На заключительном этапе происходит наполнение интегрированной базы данных. Для визуализации необходимо организовать взаимодействие с ГИС, в которой имеется электронная поквартальная карта лесхоза.

На рис. 3 представлена структура ИПС, где 1 — собственно ИПС; 2 — программное обеспечение, реализующее модель атмосферы; 3 — геоинформационная система (ГИС) или другое программное обеспечение, для которого в качестве входных данных необходима информация о вероятности лесной пожарной опасности. Сплошными линиями показаны направления движения информационных потоков входных, промежуточных и выходных данных, а точечными линиями — потоки управляющей информации, инициированные пользователем ИПС.

Система построена по принципу многодокументного интерфейса (MDI — Multi Document Interface) и состоит из нескольких блоков. Блок 1.1 — Оболочка ИПС, которая реализует графический интерфейс пользователя, взаимодействие ИПС с другими программами, а также межблочное взаимодействие внутри ИПС.

Выбор пункта File позволяет получить доступ к стандартным операциям с файлами. Пункт меню Base имеет подпункты, предназначенные для открытия окна базы данных (Base — Show), ее закрытия (Base — Close), а также подпункты, дублирующие операции вставки (Base — Insert Record), удаления (Base — Delete Record), поиска (Base — Search Record) и сортировки (Base — Sort by), которые расположены в окне базы данных в виде кнопок.

Выбор пункта Edit в зависимости от контекста выполняемой операции и активного окна позволяет выполнять стандартные операции по редактированию. Выбор пункта Run позволяет запустить процесс, организуемый расчетно-вычислительным блоком 1.3, на исполнение с последующим остановам на любой стадии при выборе пункта Stop. Выбор пункта Report позволяет пользователю сгенерировать отчет согласно установкам в окне выбора опций отчета — Options — Report. Выбор пункта Options позволяет получить доступ к ряду пунктов. Пункт Options — Timer — доступ к реализованному в программе набору таймеров с возможностью гибкой настройки работы запуска программы на счет

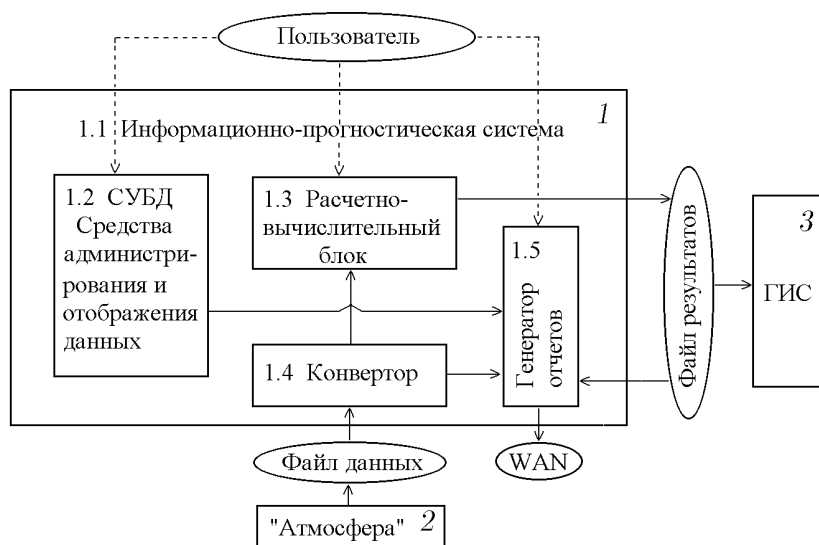


Рис. 3. Структура информационно-прогностической системы.

и остановка работы программы, автоматического архивирования прогнозной информации, обновления рабочих файлов данных, автоматической генерации и отправки отчета по электронной почте.

Выбор пункта Options — Report позволяет получить доступ к функциям генератора отчета 1.5. Генератор отчета формирует его по запросу пользователя (при нажатии кнопки Report главного меню) либо в соответствии с настройками таймера работы вычислительного блока. После окончания его работы генератор отправляет отчет заинтересованным лицам по электронной почте по каналам всемирной сети Интернет.

Выбор пункта Options — Directories позволяет получить доступ к рабочим каталогам программы.

Пункт Options — Graphics на данный момент недоступен. В дальнейшем при выборе данного пункта можно будет получить доступ к функциям работы с графической информацией.

Выбор пункта Windows позволяет переходить от окна к окну программы, в том числе по форме Базы данных. Пункт Windows имеет подпункты, которые дают возможность расположить окна программы каскадом, горизонтальной или вертикальной плиткой. В программу интегрирована система управления базой данных (СУБД Paradox 7) 1.2.

При разработке использован стандартный компонент Delphi — Query, который осуществляет всевозможные операции с данными при помощи языка SQL (Structured Query Language — язык структурированных запросов). Данный компонент выбран как наиболее удобный при переходе от локальной базы данных к серверной базе данных, так как в этом случае память используется более рационально. Средства администрирования и отображения информации базы данных имеют в своем составе инструменты для работы с хранящейся в ней информацией, представляющие собой формы для отображения данных в виде таблиц, которые предназначены для ввода, удаления, редактирования и просмотра информации. Кроме того, форма предоставляет пользователю развитые средства по навигации в базе данных, поиску и сортировке информации. Работает система закладок. Поиск в данном случае расширенный. Окно поиска содержит элементы для выбора отображающихся полей, установки условий поиска и порядка, в котором данные будут отображены



в таблице результатов. Окно поиска открывается при нажатии на форме базы данных кнопки Query. Сортировка предусмотрена простой и иерархической. Простая сортировка производится по одному полю. В окне простой сортировки есть выпадающий список полей, по которым и будет производиться сортировка. Иерархическая сортировка может производиться по нескольким полям, которые при выборе в выпадающем списке добавляются в текстовое поле через запятую. Порядок следования полей в этом случае и будет иерархией. Выбор простой и иерархической сортировки происходит в диалоговом окне при нажатии на форме базы данных кнопки Sort.

Все данные, хранящиеся в базе данных, можно разделить на термокинетические постоянные для процесса сушки ЛГМ, теплофизические параметры ЛГМ, лесотаксационные описания, данные по почвенному покрову. Часть данных не меняет своих значений, например, универсальная газовая постоянная. Такие данные реализованы в программе в виде констант.

Выбор пункта Help открывает доступ к интегрированной справочной системе по физико-математическому наполнению ИПС, руководству пользователя. Кроме того, пользователь из программы может выйти на Internet-сайт программного продукта и получить в режиме on-line необходимую информацию, направить запрос о технической поддержке.

Программа имеет возможность интерактивной совместной работы с другими программами. Оболочка ИПС устанавливает двустороннюю связь (импорт — экспорт) между ИПС и другими источниками (приемниками) данных. Связь между программами осуществляется с помощью стандартизированных потоков данных (файлов). Для этого имеются два файла данных: файл входных данных, в котором содержится вся информация, меняющаяся в течение времени (метеоданные), и файл результатов, в котором содержится информация о распределении вероятности лесной пожарной опасности по контролируемой территории. Формат файла выходных данных совместим с разрабатываемой авторами геоинформационной системой [9], что позволяет визуально представлять результаты прогноза на электронной карте. Входной файл данных представляет собой результаты численного расчета метеопараметров в программе, реализующей модель атмосферы (точнее, фрагмент, относящийся к контролируемой территории). Блок конвертера 1.4 осуществляет конвертацию этих данных в необходимый для расчетно-вычислительного блока вид. Разработана первая версия программы. В будущем будет предусмотрена возможность запуска параллельной версии расчетно-вычислительного блока [18] на удаленной МВС непосредственно из информационно-прогностической системы.

## Заключение

Таким образом, в настоящей работе представлена информационно-прогностическая система определения вероятности возникновения лесных пожаров. Данная система основана на детерминированно-вероятностном подходе определения вероятности возникновения лесного пожара через время сушки слоя ЛГМ на подстилающей поверхности и статистических данных лесопожарной ретроспективы лесхозов с учетом грозовой активности и антропогенной нагрузки на контролируемые покрытые лесом территории. В дальнейшем планируется опытная эксплуатация информационно-прогностической системы определения вероятности возникновения лесных пожаров на территории Тимирязевского лесхоза Томской области, а также лесхоза “Виссарионов бор” Томской области.

## Список литературы

- [1] Гришин А.М. Моделирование и прогноз катастроф. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2002. 122 с.
- [2] Гришин А.М. Физика лесных пожаров. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1994. 218 с.
- [3] XAVIER VIEGAS D., BOVIO G., FERREIRA A. ET AL. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe // Intern. J. of Wildland Fire. 2000. Vol. 9, No 4. P. 235–246.
- [4] ЛОБОДА Е.Л. Физико-математическое моделирование сушки и зажигания слоя лесных горючих материалов: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск: ТГУ, 2002. 109 с.
- [5] НАУЧНО-ПРИКЛАДНОЙ справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 20 (Томская, Новосибирская, Кемеровская области и Алтайский край). СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 718 с.
- [6] ТОЛСТЫХ М.А. Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. 2001. №4. С. 5–15.
- [7] ТОЛСТЫХ М.А. Global semi-Lagrangian atmospheric model based on compact finite-differences and its implementation on a parallel computer. INRIA Research Rep. #3080, Theme 4, INRIA, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, France, 1997. 25 p.
- [8] ТОЛСТЫХ М.А. Численное моделирование региональной атмосферной циркуляции с помощью глобальной модели с переменным разрешением // Тез. докл. междунар. конф. "ENVIRONIS-2002". Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. 2002. С. 56, 57.
- [9] Фильков А.И., Гришин А.М. Определение вероятности пожарной опасности, запасов лесных горючих материалов и использование ГИС для нанесения на электронную карту Белоярского лесхоза Томской области // Там же. С. 52, 53.
- [10] Гришин А.М., Голованов А.Н., Русаков С.В. Об испарении свободной и связанной влаги в лесных горючих материалах // Лесные и степные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: Мат. 4-й Междунар. конф. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. С. 54, 55.
- [11] Гришин А.М., Барановский Н.В., Лобода Е.Л., Фильков А.И. Проведение работ по программно-информационному обеспечению прогноза лесопожарной опасности для Томской области: Отчет ТГУ, Центр образования и исследований по механике реагирующих сред и экологии (ЦОИМЭК ТГУ). Томск, 2001. 221 с.
- [12] ТОДЕС О.М. Теория теплового взрыва. Тепловой взрыв для реакции нулевого порядка // Журн. физ. химии. 1939. Т. 8. Вып. 11.
- [13] ВОЛЬПЕРТ А.И., Худяев С.И. Анализ в классах разрывных функций и уравнений математической физики. М.: Наука, 1975. 394 с.

- [14] Гришин А.М., Барановский Н.В., Мейнерт И.В., Павшук Ю.Ю. Аналитическое и численное решение задачи о сушке слоя лесных горючих материалов // Лесные и степные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия: Мат. 4-й Междунар. конф. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. С. 47–50.
- [15] Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987. 492 с.
- [16] Гришин А.М., Голованов А.Н., Катаева Л.Ю., Лобода Е.Л. Задача о сушке слоя лесных горючих материалов // ИФЖ. 2001. Т. 74, №4. С. 58–64
- [17] Телицин Г.П. Метод определения пожарной опасности лесной территории // Лесные пожары и борьба с ними. М.: ВНИИЛМ, 1987. С. 13–28.
- [18] BARANOVSKY N.V., GRISHIN A.M. Prediction of forest fire maturity of forest fuel layer using landscape parallelization. // Вычисл. технологии. 2002. Т. 7. Ч. 1. (Совместный выпуск Вестник КазНУ. №4 (32)). С. 37–44.

*Поступила в редакцию 8 октября 2002 г.,  
в переработанном виде — 22 ноября 2002 г.*