

УДК 004.031

Система поддержки принятия решений при выборе оптимального маршрута движения пешеходов в городе с учетом загрязнения атмосферного воздуха

Предложена система поддержки принятия решений при выборе оптимального маршрута движения пешеходов в городе с учетом загрязнения атмосферного воздуха, рассмотрены вопросы ее разработки и представлены результаты применения.

О. П. РЯБЫЧИНА,
доцент кафедры программного обеспечения сетей телекоммуникаций, кандидат технических наук
Белорусская государственная академия связи

В. А. РЫБАК,
проректор по учебной работе, кандидат технических наук, доцент
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Ключевые слова:

система поддержки принятия решений, загрязнение воздуха, оптимальный маршрут.

Введение. Одной из самых важных проблем человечества является проблема сохранения окружающей среды и переход общества к устойчивому развитию. В работах [1–4] обоснованы важность и актуальность создания системы поддержки принятия решений (СППР) при выборе оптимального маршрута движения пешеходов в городе с учетом загрязнения атмосферного воздуха. Эта система может в режиме реального времени предоставлять пешеходам через сеть интернет информацию о текущем состоянии атмосферного воздуха в заданной точке города и на планируемом маршруте движения.

Основная часть. В статье мы продолжаем рассматривать вопросы разработки СППР при выборе оптимального маршрута движения пешеходов в городе с учетом загрязнения атмосферного воздуха. В системе оценивается степень загрязнения воздуха на любом маршруте движения. Стационарные станции наблюдения за состоянием воздуха устанавливаются на городских улицах в районах с интенсивным движением транспорта и располагаются на перекрестках улиц. Мобильные станции предполагают использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) или выезд передвижной лаборатории и применяются для поддержания в актуальном состоянии

информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха.

Для построения карт загрязненности атмосферного воздуха используются данные от стационарных и передвижных лабораторий. При этом методом интерполяции по соседним точкам получается непрерывная поверхность, данные в которой носят вероятностный характер – то есть прогнозируют, но не гарантируют точную концентрацию загрязняющих веществ и интегрального показателя в любой точке.

В рамках такой концепции мониторинга разработана функциональная схема СППР (рис. 1).

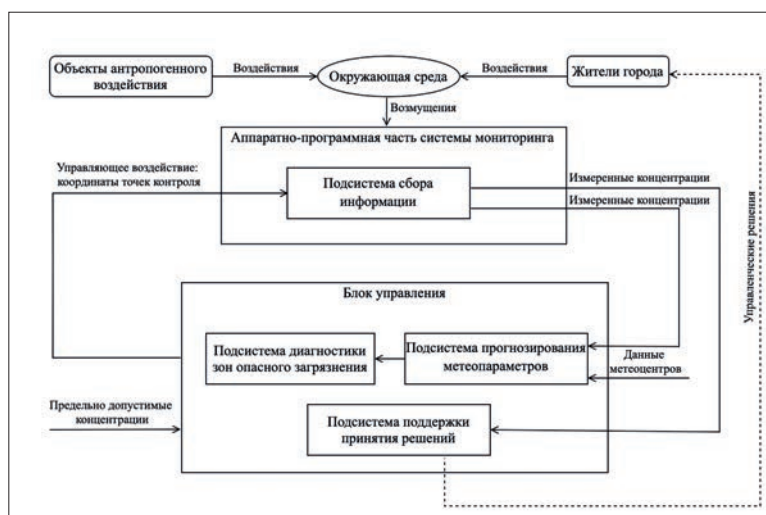


Рисунок 1 – Функциональная схема СППР атмосферного воздуха

Управление информационно-технической частью СППР учитывает степень превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) веществ с помощью станций отбора проб и максимально разовой величины ПДК согласно Гигиеническому нормативу. При превышении значения ПДК техническая часть производит дополнительные измерения и обработку данных. Полученные данные используются для формирования управленческих решений по выбору оптимального маршрута движения пешеходов в городе с учетом загрязнения атмосферного воздуха либо для иных целей.

В математической модели задачи поиска оптимального маршрута из одной точки города в другую [5, 6] учитываются результаты анализа проб атмосферного воздуха, взятых в определенных точках города при известных значениях температуры и влажности воздуха. Для этих целей предложена формула для расчета интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха:

$$l = \frac{TV}{n} \sum_{i=1}^n k_{it} k_{iv} \frac{C_i}{C_i^{\max}}, \quad (1)$$

где n – число учитываемых загрязнителей; k_{it} – коэффициент, учитывающий изменение действия загрязняющего вещества при изменении температуры; k_{iv} – коэффициент, учитывающий изменение действия загрязняющего вещества при изменении влажности воздуха; C_i – разовая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе в определенный момент времени, г/м³; T – температура, градусы Цельсия; V – влажность, г/м³; $C_i^{\max}$ – максимально разовая предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе, г/м³.

Для аварийных ситуаций разработан и реализован алгоритм прогнозирования и визуализации степени загрязнения атмосферного воздуха на основе анализа взятых проб с учетом силы и направления ветра. В этом случае в качестве точек взятия проб воздуха добавляются точки выброса и дополнительные точки по направлению распространения воздушных масс с загрязняющими веществами [7, 8].

Для оценки необходимости обновления проб воздуха введен коэффициент актуальности K_i^{akm} , показывающий оценку близости текущих данных о загрязнении воздуха в точке взятия проб воздуха с номером i к средним значениям за предыдущие сутки. Средний коэффициент актуальности

для всего города рассчитывается как среднее арифметическое коэффициентов актуальности для всех точек взятия проб воздуха. Величина K_i^{akm} вычисляется по формуле:

$$K_i^{akm} = \frac{l_i}{l_i^{cp}} \cdot \frac{V_i}{V_i^{cp}} \cdot \frac{t_i}{k_t}, \quad (2)$$

где l_i – текущее значение интегрального показателя, учитывающего загрязнение атмосферного воздуха в точке взятия проб воздуха с номером i ; l_i^{cp} – среднее значение интегрального показателя, учитывающего загрязнение атмосферного воздуха, за предыдущие сутки в точке взятия проб воздуха с номером i ; V_i – текущая скорость ветра в точке взятия проб воздуха с номером i , м/с; V_i^{cp} – среднее значение скорости ветра за предыдущие сутки в точке взятия проб воздуха с номером i , м/с; t_i – время, прошедшее с момента последнего взятия проб воздуха в точке с номером i , с; k_t – коэффициент, обуславливающий частоту вылета БПЛ для забора проб, с.

Как следует из формулы (2), коэффициент актуальности будет увеличиваться при увеличении скорости ветра и уровня загрязнения, а также с течением времени. Диапазон изменения значений коэффициента составит от нуля до бесконечности, при этом чем меньше значение коэффициента, тем актуальнее данные. Новый (очередной) вылет БЛА или выезд передвижной лаборатории будет осуществляться при достижении установленного значения коэффициента актуальности.

Для поиска оптимальной траектории полета предлагается следующий алгоритм:

1. Рассчитываются все значения K_i^{akm} для всех ячеек исследуемой территории.
2. Двигаясь от максимального значения всех K_i^{akm} в сторону снижения, находим другие точки со значениями K_i^{akm} меньше максимального до тех пор, пока не найдутся N точек, обновление данных в которых позволит получить заданный пользователем уровень K_i^{akm} .

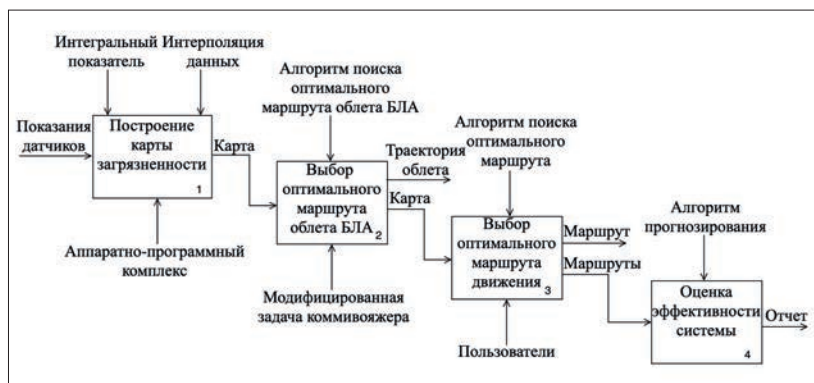


Рисунок 2 – Структура системы поддержки принятия решений при выборе оптимального маршрута с учетом загрязнения воздуха

3. Для выделенных точек решается замкнутый вариант задачи коммивояжера методом случайного перебора – генерируем случайным образом N последовательностей, отражающих движение БЛА через точки, и выбираем ту из траекторий, суммарный путь которой наименьший.

Работу СППР можно представить по шагам: выбор точек; генерация возможных маршрутов; расчет загрязнения воздуха; выбор оптимального маршрута; прогнозирование уровня загрязнения атмосферного воздуха с учетом скорости и направления ветра.

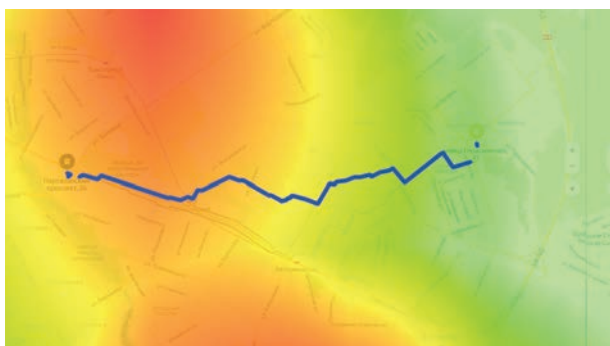


Рисунок 3 – Отображение оптимального маршрута

В общем виде структура разработанной системы представлена на рис. 2.

Результаты применения СППР. При выборе оптимального маршрута движения по критерию минимизации неблагоприятного воздействия загрязнения атмосферного воздуха пользователь задает на карте в разработанной системе начальную и конечную точки пути. Далее на основе оперативных данных о загрязнении воздуха по пути следования, получаемых из базы данных системы, строится оптимальный маршрут (рис. 3).

Заключение. Таким образом, разработана система поддержки принятия решений, включающая аппаратно-программный комплекс, в основу работы которой положено специальное математическое и программное обеспечение обработки и визуализации экологических данных. Оно позволяет, в отличие от известных, в режиме реального времени осуществлять оценку и прогнозирование уровня загрязнения атмосферного воздуха в городе.

Поскольку ситуация в течение дня постоянно меняется, в дальнейшем планируется рассмотреть установку мобильных станций на общественном транспорте с регистрацией показаний в заданных точках маршрута с помощью GPS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябычина, О. П. Поиск оптимального маршрута с учетом загрязнения окружающей среды (воздуха) / О. П. Рябычина // Весн. сувязі. – 2019. – № 6 (158). – С. 50–53.
2. Пацей, Н. Е. Применение эволюционных алгоритмов для поиска оптимального маршрута / Н. Е. Пацей, О. П. Рябычина // Проблемы инфокоммуникаций. – 2020. – № 1 (11). – С. 38–43.
3. Рыбак, В. А. Система поддержки принятия решений при выборе оптимального маршрута движения людей с учетом загрязненности воздуха / В. А. Рыбак, О. П. Рябычина // Проблемы инфокоммуникаций. – 2020. – № 1 (11). – С. 68–74.
4. Рыбак, В. А. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха / В. А. Рыбак, О. П. Рябычина // Доклады БГУИР. – 2020. – № 4, т. 18. – С. 36–43.
5. Карпук, А. А. Математические модели и алгоритмы оценки степени загрязнения воздуха в городах / А. А. Карпук, О. П. Рябычина // Весн. сувязі. – 2020. – № 5 (163). – С. 36–39.
6. Карпук, А. А. Математические модели и алгоритмы выбора оптимального маршрута передвижения в городах с учетом загрязнения воздуха / А. А. Карпук, О. П. Рябычина // Весн. сувязі. – 2020. – № 6 (164). – С. 36–39.
7. Рыбак, В. А. Аппаратное обеспечение системы для экологической диагностики загрязнения атмосферного воздуха / В. А. Рыбак, О. П. Рябычина // Изв. высш. учеб. заведений России. Радиоэлектроника. – 2020. – № 3, т. 23. – С. 93–99.
8. Рыбак, В. А. Аппаратно-программный комплекс для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и выбора оптимального маршрута движения / В. А. Рыбак, О. П. Рябычина // Вестн. КамчатГТУ. – 2020. – № 52. – С. 6–17.

Considered are the issues of developing a decision support system when choosing the optimal route for pedestrians in the city, taking into account air pollution. A decision support system is proposed for choosing the optimal route for pedestrians in the city, taking into account atmospheric air pollution, and the results of its application are presented.

Keywords: decision support system, air pollution, optimal route.

Получено 06.10.2021.