

И.М. Тетерин

МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЗВУКОВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ

Приведена математическая модель синтеза системы звукового оповещения населения при ЧС с использованием сирен. Особенностью модели является оптимизация выбора типов оборудования, размещения применяемых источников звука, выбора их пространственной ориентации с учетом неопределенных погодных условий и времени суток. В виду нелинейности задачи, большой размерности и сложного характера ограничений, авторами предлагается переход к аппроксимирующей модели. Программная реализация алгоритма модели осуществлена с использованием программы RISKOptimizer (компания Palisade Corp. (USA)), в которой реализованы эффективные генетические алгоритмы для решения экстремальных задач

Ключевые слова: системы звукового оповещения, модель синтеза

I.M. Teterin

MODEL OF SUPPORT OF ACCEPTANCE OF EFFECTIVE DESIGN DECISIONS FOR TERRITORIAL SYSTEMS OF THE SOUND NOTIFICATION

The problem of optimal synthesis of territory sound alarming system is regarded. Three kinds of optimal decisions are investigated: what kinds of equipment must be used, where it must be allocated and how it must be oriented in space. The alarming system must generate sound signal all over the territory with prescribed level of sound pressure. As the main optimization criterion the project cost is chosen. Some set of indefinite factors (temperature, wind, day time etc.) are included into the model. The principal of guaranteed result is used

Key words: Systems of the sound notification, synthesis model

В вербальной постановке задача синтеза оптимальной сети оповещающих устройств формулируется следующим образом. Имеется территория S , на которой необходимо разместить некоторую совокупность оповещающих устройств.

Переменные задачи

В задаче выбираются:

- 1) точки дислокации устройств;
- 2) тип устройства для каждой точки дислокации;
- 3) ориентация оповещающего устройства (положение оси направленности сирены) в каждой точке дислокации.

При этом устройства могут размещаться как на имеющихся сооружениях, так и на специальных мачтах. В последнем случае требуются дополнительные затраты на монтаж мачт.

Ограничения задачи

Требование к синтезируемой сети оповещения состоит в обеспечении на всей территории S оповещающего сигнала со звуковым давлением не ниже заданного ($P_{\min}$). Это условие должно выполняться при всех возможных значениях природных факторов, характерных для данной местности, влияющих на величину звукового давления (время суток, влажность воздуха, атмосферные осадки, направление и сила ветра, температура воздуха, туман).

Критерий задачи

Критерием оптимизации (минимизации) является стоимость синтезируемой сети оповещения.

Описание математической модели выбора оптимального покрытия территории сигналом оповещения (Модель 1)

Описание обозначений и переменных

1	Количество типов рассматриваемых сирен	R
2	Стоимости ввода в эксплуатацию одной установки данного типа (с учетом покупки, оплаты таможенных пошлин, доставки, монтажа на готовой мачте или здании и наладки)	$C_1, \dots, C_R$
3	Стоимость монтажа одной мачты для установки сирены данного типа	$F_1, \dots, F_R$
4	Количество установленных сирен	N
5	Углы направленности сирен	$L_1, \dots, L_N$
6	Места (координаты) дислокации сирен	$(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)$
7	Номера типов установленных сирен	$I_1, \dots, I_N$
8	Давление звука в точке (v, w) при установке сирены типа I в точке (x, y) с углом направленности L	$P(I, L, (x, y), (v, w))$
9	Множество точек заданной территории покрытия	S
10	Множество точек заданной территории покрытия, в которых есть либо мачта, либо здание, на котором возможна установка сирены	S_0
11	Минимально допустимое звуковое давление на заданной территории покрытия	$P_{\min}$
12	Расстояние от источника звука, на котором известно звуковое давление	L_0
13	Шаг по углу между осью направленности сирены и осью микрофона, используемый в исходных данных	L
14	Звуковое давление на расстоянии L_0 от источника звука I при значении угла A между осью направленности сирены и осью микрофона (направление на точку восприятия звука)	$R(I, A)$
15	Угол между осью направленности сирены и направлением на точку восприятия звука (v, w)	E

16	Время суток	K_1
17	Множество возможных значений для времени суток	A_1
18	Влажность воздуха	K_2
19	Множество возможных значений для влажности воздуха	A_2
20	Атмосферные осадки	K_3
21	Множество возможных значений для атмосферных осадков	A_3
22	Направление ветра	K_4
23	Множество возможных значений для направлений ветра	A_4
24	Сила ветра	K_5
25	Множество возможных значений для силы ветра	A_5
26	Температура воздуха	K_6
27	Множество возможных значений для температуры воздуха	A_6
28	Густота тумана	K_7
29	Множество возможных значений для густоты тумана	A_7
30	Множество точек (узлы сетки и граничные точки), используемое в аппроксимирующей модели	S^*
31	Шаг по углу направленности сирен в аппроксимирующей модели	q
32	Величина убывания звукового давления для данного типа местности при удвоении расстояния от источника звука	r
33	Угловой размер сектора допустимого озвучивания	$d_{\max}$
34	Радиус сектора допустимого озвучивания	$R_{\max}$

Остановимся подробнее на построении функции $P(I, L, (x, y), (v, w))$. В составе исходных данных для сирен каждого типа имеется таблица, которая показывает звуковое давление на расстоянии L_0 в зависимости от угла между осью установки сирены и осью микрофона. Значения углов берутся с некоторым шагом.

A	$R(I, A)$
0	$R(I, 0)$
l	$R(I, l)$
$2l$	$R(I, 2l)$
...	...
360^0	$R(I, 360^0) = R(I, 0)$

Пусть m и n таковы, что выполняются следующие неравенства:

$$n l < E < (n + 1) l$$

$$2 m L_0 < \sqrt{(x - v)^2 + (y - w)^2} < 2 m + 1 L_0$$

Числа m и n можно выразить явно, как

$$n = \left\lceil \frac{E}{l} \right\rceil \quad \text{и} \quad m = \left\lceil \log_2 \frac{\sqrt{(x - v)^2 + (y - w)^2}}{L_0} \right\rceil.$$

Тогда функцию P можно вычислить приближенно, исходя из законов линейной аппроксимации следующим образом:

$$\begin{aligned}
 P(I, L, x, y, v, w) \approx & \left(2 - \frac{\sqrt{(x-v)^2 + (y-w)^2}}{2^m L_0}\right) \left((n+1 - \frac{E}{l})R(I, nl) + (\frac{E}{l} - n)R(I, (n+1)l) - mr\right) \\
 & + \left(\frac{\sqrt{(x-v)^2 + (y-w)^2}}{2^m L_0} - 1\right) \left((n+1 - \frac{E}{l})R(I, nl) + (\frac{E}{l} - n)R(I, (n+1)l) - (m+1)r\right) = \\
 & (n+1 - \frac{E}{l})R(I, nl) + (\frac{E}{l} - n)R(I, (n+1)l) - mr + r \left(1 - \frac{\sqrt{(x-v)^2 + (y-w)^2}}{2^m L_0}\right)
 \end{aligned}$$

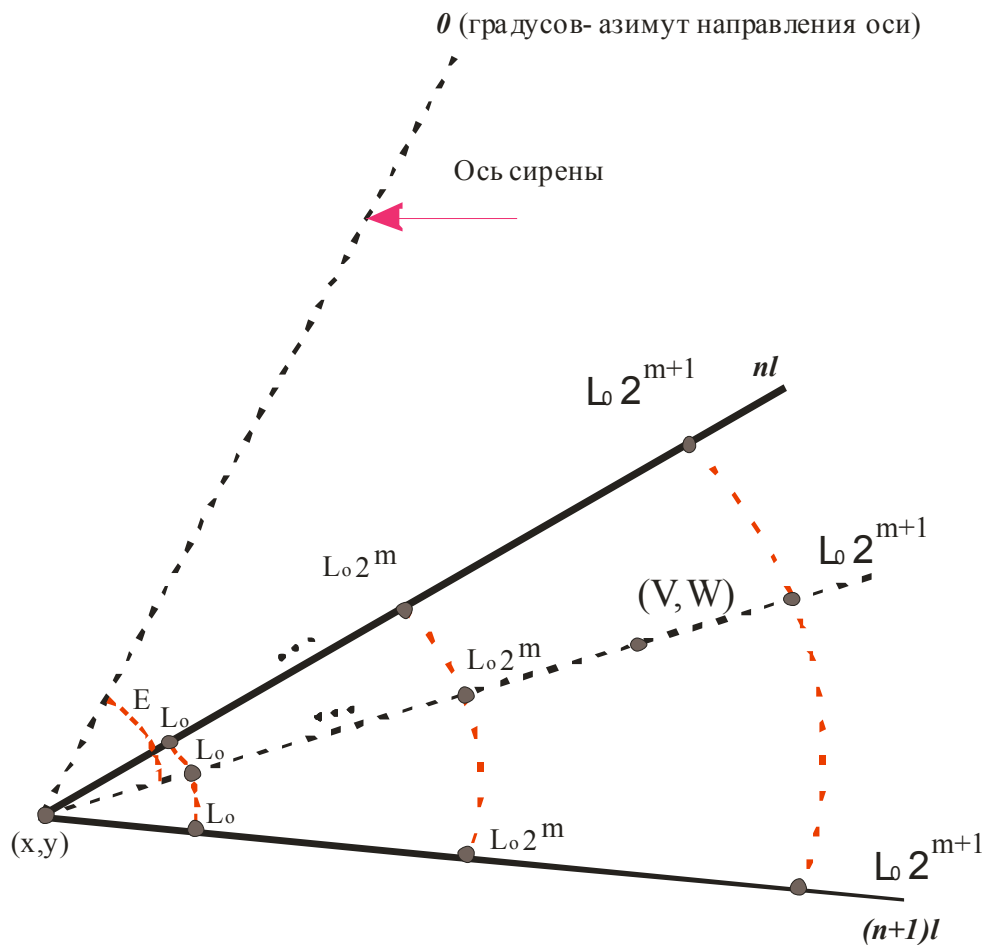


Рис. 1. Шаблон вычисления для функции $P(I, L, (x, y), (v, w))$

Математическая постановка задачи синтеза распределенной системы оповещения минимальной стоимости, обеспечивающей звуковое давление сигнала не ниже заданного на заданной территории, приведена ниже.

$$\left(\sum_{i=1}^N C_{I_i} + \sum_{i:(x_i, y_i) \in S \setminus S_0} r_i \right) \longrightarrow \min_X$$

$$\max_{1 \leq i \leq N} P(I_i, L_i, (x_i, y_i), (v, w)) \geq P_{\min}, (v, w) \in S,$$

где $X = (N, x_1, \dots, x_N, y_1, \dots, y_N, I_1, \dots, I_N, L_1, \dots, L_N)$.

Это принципиальная постановка задачи, которая, однако, не учитывает ряда внешних факторов, влияющих на величину звукового давления. Из теории акустики известно, что звуковое давление зависит от таких факторов, как:

- время суток;
- влажность воздуха;
- атмосферные осадки;
- направление ветра;
- сила ветра;
- температура воздуха;
- туман.

Согласно постановке исходной задачи, система оповещения должна обеспечивать минимально допустимое звуковое давление на заданной территории при всех возможных значениях перечисленных выше внешних факторов. В этом случае математическая постановка задачи принимает следующий вид:

$$\left(\sum_{i=1}^N C_{I_i} + \sum_{i:(x_i, y_i) \in S \setminus S_0} r_i \right) \longrightarrow \min_X$$

$$\min_{(v, w) \in S} \max_{1 \leq i \leq N} \min_{K_1 \in A_1, \dots, K_7 \in A_7} P(I_i, L_i, (x_i, y_i), (v, w), K_1, \dots, K_7) \geq P_{\min},$$

где $X = (N, x_1, \dots, x_N, y_1, \dots, y_N, I_1, \dots, I_N, L_1, \dots, L_N)$.

Решать данную задачу в явном виде затруднительно из-за её нелинейности, большой размерности и сложного характера ограничений. Поэтому была построена аппроксимирующая модель. Не описывая полностью правила построения аппроксимирующей модели, сформулируем лишь основные идеи ее формирования.

Множество точек территории покрытия заменяется на конечное число точек сеточной структуры S^* (рис. 2). Предполагается, что обеспечение заданного уровня звукового давления на данном множестве точек влечет за собой и выполнение данного условия на всем множестве S .

В качестве точек дислокации сирен (x_i, y_i) рассматриваются только точки множества S^* .

Множество возможных углов направленностей сирен аппроксимируется равномерной конечной сеткой с шагом q .

Зависимость звукового давления от внешних факторов $K_1, \dots, K_7$ приближенно выражается через мультипликативные коэффициенты для

функции звукового давления P . При этом рассматриваются их наименее благоприятные значения.

Оптимизационная задача для аппроксимирующей модели решалась на компьютере с использованием программы RISKOptimizer (компания Palisade Corp. (USA)), в которой реализованы эффективные генетические алгоритмы для решения экстремальных задач.

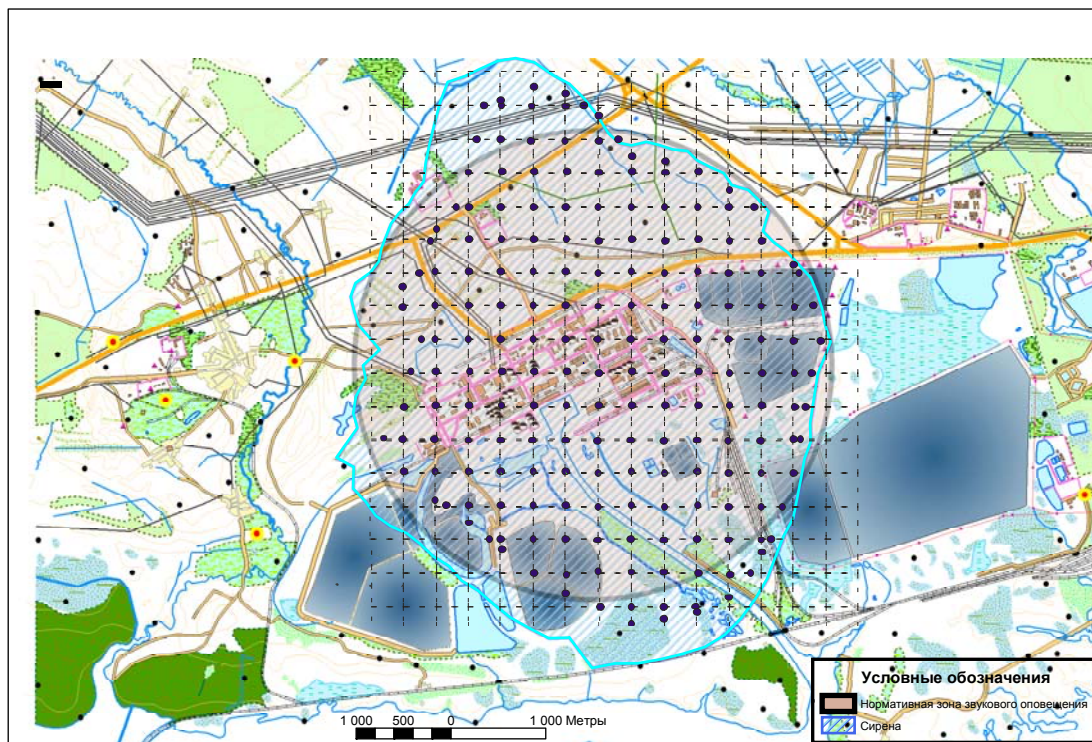


Рис. 2. Графическое изображение точек множества S^*

Описание математической модели выбора оптимального покрытия территории предприятия системой голосового оповещения (Модель 2)

Идеология и математическая постановка задачи синтеза сети голосового оповещения полностью соответствует приведенной выше для Модели 1. Однако специфика данной задачи позволяет сделать два важных упрощения, по сравнению с Моделью 1.

Рассматривается только один тип озвучивающих устройств ($R = 1$).

Проверка достижимости необходимого звукового давления в точке (v, w) осуществляется проще, чем вычисление функции P в Модели 1. А именно, проверяется лишь попадание точки (v, w) в некоторый сектор с заданным угловым размером ($d_{\max}$) и заданным радиусом ($R_{\max}$) (рис. 3).

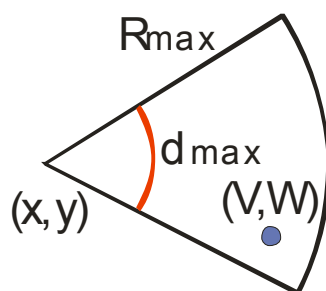


Рис. 3. Зона допустимого звукового сигнала

Литература

1. Девис А. Современная акустика. – М.: НКПТ СССР, 1938. - 299 с.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 марта 1993 года № 178 "О создании локальных систем оповещения в районах размещения потенциально опасных объектов".
3. Косоруков О.А., Мищенко А.В., Исследование операций: Учебник. – М.: Изд-во Экзамен, 2003. – 448 с.
4. Леоненков А.В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2005. – 704 с.