УДК 519.6

А. А. Стенин, Е. Ю. Мелкумян, С. А. Стенин, А. А. Мизев

ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С МИНИМАЛЬНЫМИ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ ДЛЯ ДАННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

Аннотация. В данной статье решается задача оптимального размещения новых промышленных предприятий. Рассмотрены общая математическая модель и типичные ситуации. Указаны методы решения задачи оптимизации и дана интерпретация частных и общих результатов.

Ключевые слова: уравнение Навье-Стокса, экологически значимые зоны, интегральные критерии загрязнения, методы прямого моделирования, линейное программирование.

Введение

Повышение темпов развития экономики Украины требует строительства современных мощных индустриальных предприятий. Поскольку для их работы требуются значительные трудовые ресурсы, их целесообразно размещать в густонаселенных районах или вблизи от них. Однако при этом возникает проблема минимизации их вредного влияния на экологическую систему выбранного региона[1,2]. Проблема оптимального размещения индустриальных предприятий является достаточно сложной и многокритериальной. Локальные загрязнения в результате выбросов индустриальных предприятий, построенных без учета экологической составляющей, сегодня давно превзошли предельно допустимые санитарные нормы. Естественно, что предельно допустимые дозы должны учитывать загрязнения и от уже существующих промышленных объектов данного региона, что было рассмотрено авторами в работе [3]. Данная статья является развитием данной тематики и посвящена решению задачи оптимального размещения новых индустриальных предприятий с соблюдением санитарных норм загрязнения для всех экологически значимых зон.

Постановка задачи

Пусть требуется разместить новое индустриальное предприятие в выбранном регионе с таким условием, что бы суммарное годовое загрязнение вредных промышленных выбросов не превышало допустимых санитарных норм и общая экологическая нагрузка на весь регион за счет загрязнения от данного предприятия была минимальной, но в пределах допустимых санитарных норм.

Предположим, что данное индустриальное предприятие выбрасывает в атмосферу в единицу времени на высоте z_0 = h вредный аэрозоль с интенсивностью Q, который переносится воздушными массами и диффундирует в атмосфере за счет процесса турбулентности. Считаем, что местонахождение источника загрязнения определяется некоторой точкой $\bar{r}_0 = (x_0, y_0, z_0)$, которая соответствует местоположению трубы этого предприятия (x_0, y_0), и её высоты z_0. Тогда область загрязнения согласно работам [3,4] можно описать функцией:

$$f(\bar{r}) = Q\delta(\bar{r} - \bar{r}_0) \tag{1}$$

Уравнение процесса массопереноса на основании уравнения Навье-Стокса [6], которое описывает динамику процессов массопереноса веществ в различных средах, в нашем случае может быть записано в виде [3,4]:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial t} + div\bar{v}\cdot\varphi + \sigma\varphi = \frac{\partial}{\partial z}\nu\frac{\partial\varphi}{\partial z} + \mu\Delta\varphi + Q\delta(\bar{r} - \bar{r}_0) \tag{2}$$

где: $\varphi = \varphi(x, y, z, t)$ – интенсивность аэрозолей субстанции, мигрирующей вместе с потоком воздуха в атмосфере; $\bar{v} = (v_x, v_y, v_z)$ – проекции вектора скорости $\bar{v}$ на оси координат; ν, μ – коэффициенты вертикального и горизонтального турбулентного обмена; σ – коэффициент поглощения.

Решение будем искать для цилиндрической области Ω с поверхностью S, состоящей из боковой поверхности S_σ, нижнего основания S_0 (при z_0 = 0) и верхнего основания S_h (при z_0 = h) на множестве периодических функции от переменной с периодом *t*, т.е.

$$\varphi(\bar{r}, \bar{T}) = \varphi(\bar{r}, 0) \tag{3}$$

В качестве граничных условий примем:

$$\begin{cases} \varphi = 0 & \text{на поверхности } S_\sigma \\ \dfrac{\partial\varphi}{\partial z} = \alpha\psi & \text{на поверхности } S_0 \\ \dfrac{\partial\varphi}{\partial z} = 0 & \text{на поверхности } S_h \end{cases} \tag{4}$$

Сюда нужно добавить уравнение неразрывности

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + \frac{\partial v_y}{\partial t} + \frac{\partial v_z}{\partial t} = 0, \tag{5}$$

отражающее выполнение закона сохранения масс.

Задача состоит в том, чтобы выбрать для размещения k-го индустриального предприятия такую зону $\Omega_k \subset \Omega$, в которой будут соблюдаться глобальные и локальные санитарные нормы загрязнения как всего региона S_0, так и выбранных зон Ω_k.

Кроме того, необходимо иметь информацию о розе ветров, присущую данному региону.

Решение задачи.

В качестве основного функционала решения задачи (1) - (5) будем использовать функционал вида [3,4]:

$$I_p = \int_0^T dt \int_\Omega p\varphi d\Omega , \tag{6}$$

при различных значениях p.

В частности, при

$$p = \begin{cases} b, \bar{r} \subset \Omega_k \\ 0, \bar{r} \not\subset \Omega_k \end{cases} \tag{7}$$

приходим к функционалу вида

$$I_k^b = b \cdot \int_0^T dt \int_{\Omega_k} p\varphi d\Omega, b = {}^1\!/_T , \tag{8}$$

который определяет среднее за период T количество аэрозоля в единичном цилиндре над экологически значимой зоной.

Если же принять p равным:

$$p = \begin{cases} a \cdot \delta(z), \bar{r} \subset \Omega_k \\ 0, \bar{r} \not\subset \Omega_k \end{cases} \tag{9}$$

где a – характеризует вероятность выпавшей на поверхность земли субстанции аэрозоля снова попасть в атмосферу, то придем к функционалу:

$$I_k^a = a \cdot \int_0^T dt \int_{\Omega_k} \varphi dS \tag{10}$$

который определяет полное количество аэрозоля, осевшего на земной поверхности в той же зоне $\Omega_k \subset S_0$.

Отсюда

$$I_p = I_k^b + I_k^a \tag{11}$$

С учетом (11), введем в рассмотрение обобщенный функционал

$$I_{\Omega_k} = \int_0^T dt \int_{\Omega_k} [b_k + a_k \cdot \delta(z)]\, \varphi d\Omega, \tag{12}$$

где a_k, b_k – коэффициенты, определяемые конкретно выбранной зоной Ω_k и периодом повторения T. Следует отметить, что эти коэффициенты могут иметь более сложный характер, в частности, могут выражать корреляционные связи между количеством аэрозолей в Ω_k и его вредностью и т.д.

В случае одномерной задачи решение уравнения (2) в стационарном режиме в зависимости от наличия ветра, его скорости и направления, имеют вид,

 ISSN 1560-8956

представленный на рис. 1 а) и б). Функция $\varphi^0(x)$ имеет симметричный вид и соответствует интенсивности аэрозолей при отсутствии ветра.

Её аналитическое выражение имеет вид:

$$\varphi^0(x) = \frac{Q}{2\sqrt{\sigma\mu}} \begin{cases} \exp\{-\sqrt{\sigma/\mu} \cdot (x - x_0),\ при\ x \geq x_0 \\ \exp\{-\sqrt{\sigma/\mu} \cdot (x - x_0),\ при\ x \leq x_0 \end{cases} \tag{13}$$

при этом $\bar{Q} = \dfrac{Q}{2\sqrt{\sigma\mu}}$, где σ σ – величина, обратная величине интервала времени, за который интенсивность субстанции по сравнению с начальной интенсивностью $\varphi(0)$ уменьшится в e раз.

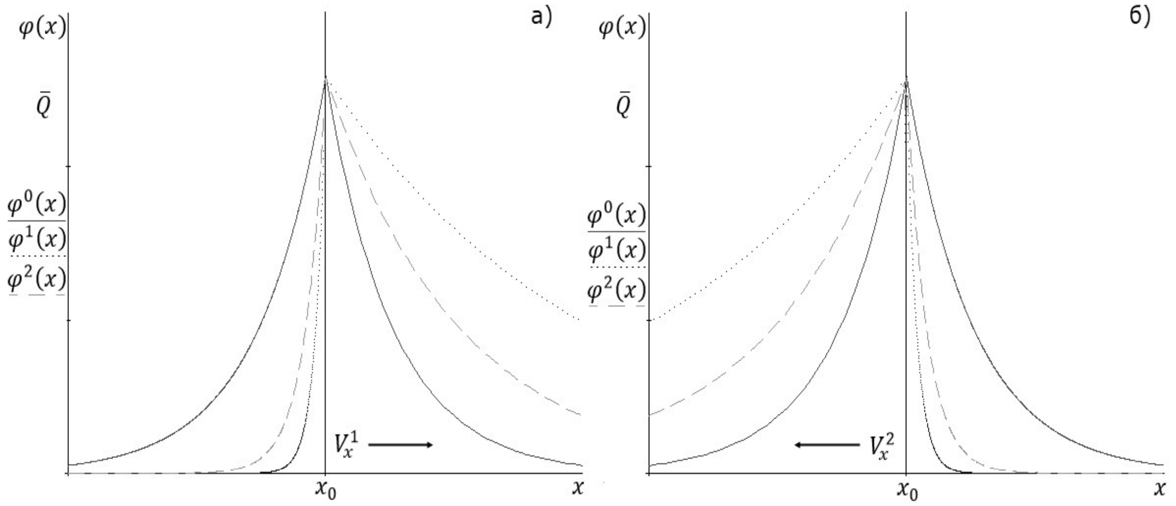

Рис. 1. Вид одномерных функций $\varphi(x)$
при отсутствии ветра ($\varphi^0(x)$) и при наличии ветра,
его направления V_x и значений V_x^1 и V_x^2 его скорости $(\varphi^1(x, V_x^1))$
и $\varphi^2(x, V_x^2)$ при $V_x^1 > V_x^2$)

При наличии ветра функции $\varphi^1(x)$ и $\varphi^2(x)$ асимметричны и имеют в показателе экспоненты составляющую силы ветра с учетом его направления.

Известно [6], что аналитическое решение уравнения Навье-Стокса для трехмерного случая до сих пор не получено.

Поэтому так или иначе приходится использовать его упрощенные аналоги, полученные на основе дополнительной информаций и упрощающих решение задачи условий.

Кроме того, данная задача в такой постановке в идеале требует бесконечно большого числа переборов точек размещения индустриального предприятия с бесконечно большим числом решений.

Поэтому на практике необходимо иметь большой объем климатической статистической информации относительно данного региона на протяжении длительного времени наблюдения [1,4]. Исходя из нее выбирается значение периода T и приоритетные точки размещения индустриального предприятия.

В данном случае можно выбрать два подхода к решению данной задачи. Во-первых, можно использовать методы прямого моделирования для отобранных тем или иным способом точек размещения индустриального предприятия. Однако этот подход требует наличия специального программного обеспечения, в частности, Solid Works [5]. Во-вторых, можно использовать подход, предложенный авторами в работе [3], который предлагает сведение искомой задачи к задаче линейного программирования, однако требует введения дополнительных условий. Как в том, так и в другом случае решение вопроса об оптимальном размещении сводится к многократному решению и последующего выбора минимального из полученных. Как уже указывалось ранее, число таких итераций может быть снижено за счет целенаправленного перебора с учетом розы ветров и других соображений климатического статистического характера.

При определенных условиях, приведенных в работе [4], эта задача может быть решена однозначно с помощью всего лишь одного варианта расчета сопряженной задачи, построенной на основе принципа двойственности.

Заключение

Следует отметить, что глобальная оценка загрязнения в данной задаче оптимизации решается для всего региона S_0, но она может не удовлетворять специфическим условиям для всех экологически значимых зон Ω_k.

Задача оптимизации может быть решена для всех экономически значимых зон Ω_k, но она не будет полностью учитывать опасность загрязнения в остальных областях этого региона. В принципе можно весь регион S_0 покрыть зонами Ω_k, т.е. $\cup\Omega_k = S_0$, и решить для них задачи оценки загрязнения. Но таких зон может быть много и значительно затрудняет решение задачи. Поэтому необходимо использовать всю статистическую информацию и, прежде всего, экологического характера, чтобы с учетом типизации метеорологических процессов и минимальных капиталовложений безопасно выбирать место расположения будущего индустриального объекта.

Литература

1. Л. Долина. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. Часть 2. Проектирование мониторинга. - Днепропетровск, Континент, 2004, 105 с.

2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник. Изд. в 2-х томах / Под ред. С. Кольверта, С. Инглуида. - М.: Металлургия, 1988, 758с.

3. А. А. Стенин, Е. Ю. Мелкумян, С. А. Стенин Оптимизация вредных выбросов предприятий в экологических зонах промышленного региона. АСАУ. 2017, вып. 1(30), с. 176-183.

4. Г. И. Марчук Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, Гл. редакция физ.-мат. литературы, 1982. - 320 с.

5. А. А. Акамовский и др. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - СПБ.: БХВ-Петербург, 2008, - 1040 с.

6. Темам Р. Уравнения Навье-Стокса. Теория и численный анализ (пер. с англ.). - М.: Изд-во "Мир", 1981, 408 с.