

# АЛГОРИТМИЗАЦИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

---

УДК 665.7:502.51:504.5

**Н. Н. Буснюк, А. В. Бурмакова, В. В. Смелов**

Белорусский государственный технологический университет

## **ЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ФОРМЫ ПЯТНА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НЕФТЕПРОДУКТОМ**

Статья посвящена описанию эвристического алгоритма расчета формы наземного пятна вследствие аварийного пролива нефтепродуктов из неподвижного резервуара. Исходными данными для вычисления формы наземного пятна загрязнения являются координаты и высота над уровнем моря центра пролива нефтепродукта и точек окрестности, а также количество пролитого нефтепродукта, выраженное через величину занимаемой площади. Фактор проникновения жидкости в грунт не учитывается, поэтому площадь наземного пятна в модели считается величиной постоянной и может менять лишь форму. Все вычисления в математической модели производятся в прямоугольной системе координат. Для аппроксимации точек границы поверхности через числовые характеристики (координаты, высоту) известных точек применяется линейная модель. Результатом моделирования является многоугольник, соединив вершины которого плавной линией, получим предполагаемую форму пятна. Для получения многоугольника используется окружность заданной площади с центром в точке пролива. По известным точкам окрестности аппроксимируются точки на окружности. Затем по найденным точкам окружности аппроксимируются дополнительные точки на окружности с целью получения многоугольника с количеством вершин, достаточным для построения плавной границы искомого пятна. Для аппроксимации вершин многоугольника по найденным точкам окружности используется третья числовая характеристика – высота. Пропорционально разности высот в точках на окружности и ее центре рассчитываются длины векторов с началом в центре окружности. Концы этих векторов задают вершины некоторого многоугольника, геометрически подобного искомому. Путем растяжения (сжатия) из него получается искомый многоугольник заданной площади. В дальнейшем эта модель применяется при расчете концентрации нефтепродукта в грунте и грунтовых водах. При практической необходимости увеличить точность эвристического алгоритма для расчета координат вершин многоугольника может быть использована полиномиальная, тригонометрическая или смешанная модель.

**Ключевые слова:** эвристический алгоритм, математическая модель, многоугольник, прогнозирование, экология, нефтепродукты, границы пятна, точность.

**N. N. Busnyuk, A. V. Burmakova, V. V. Smelov**

Belarusian State Technological University

## **HEURISTIC ALGORITHM FOR COMPUTATING THE GROUND POLLUTION SPOT FORM BY OIL PRODUCT**

The article is devoted to the description of a heuristic algorithm for computing the shape of a ground spot due to an accidental spillage of petroleum products from a stationary reservoir. The initial data for calculating the shape of the ground pollution spot are the coordinates and height above the sea level of the center of the oil product spill and the points of the vicinity, as well as the amount of oil spilled, expressed in terms of the area occupied. The factor of penetration of liquid into the ground is not taken into account, therefore the area of the ground spot in the model is considered to be a constant and can only change the shape. All calculations in the mathematical model are carried out in a rectangular coordinate system. To approximate the points of the surface boundary through the numerical characteristics (coordinates, height) of known points, a linear model is applied. The result of the simulation is a polygon, connecting the vertices of which with a smooth line, we get the supposed shape of the spot. To obtain a polygon, we use a circle of a given area centered at the point of the strait. By known points of the neighborhood, points on the circle are approximated. Then, on the found points of the circle, additional points on the circle are approximated in order to obtain a polygon with

the number of vertices sufficient for constructing the smooth boundary of the spot sought. To approximate the vertices of a polygon, the third numerical characteristic, height, is used for the found points of the circle. Proportional to the height difference at the points on the circle and its center, the lengths of the vectors with the origin at the center of the circle are calculated. The endpoints of these vectors define vertices of a polygon geometrically similar to the desired one. By stretching (squeezing) the desired polygon of the given area is obtained from it. In the future, this model is used to calculate the concentration of oil in the ground and groundwater. With practical need to increase the accuracy of the heuristic algorithm for calculating the coordinates of the vertices of a polygon, a polynomial, trigonometric or mixed model can be used.

**Key words:** heuristic algorithm, mathematical model, polygon, forecasting, ecology, oil products, spot boundaries, accuracy.

**Введение.** Оценить масштабы и последствия нефтяного загрязнения можно при помощи математических моделей. В настоящее время разработано большое количество соответствующих моделей, состоящих из нескольких блоков. Однако даже в самых известных из них редко можно встретить наличие всех составляющих, позволяющих рассчитывать эволюцию нефтяного пятна на водной поверхности, суше и в местах их контакта в береговой зоне [1].

Специфика подобных аварий заключается в том, что поведение растекающейся жидкости наряду с ее свойствами и действием закона тяготения обуславливается как условиями местности (рельефом, наличием различных естественных и искусственных сооружений и преград, растительности и т. п.), так и характеристиками окружающей среды (погодой, климатом, составом грунтов).

Ландшафтное моделирование позволяет определить такие параметры аварийного разлива (кроме его конфигурации), как скорость распространения потока жидкости, количество нефти или нефтепродукта, аккумулированного рельефом (собранного неровностями поверхности), испарившегося с поверхности пролива, впитавшегося в грунт [2]. Кроме того, появляется возможность прогнозирования загрязнения водных объектов с определением количества попавшего в них опасного вещества и оценкой экологического риска.

В большинстве своем модели ориентированы на водную поверхность [3, 4].

Другая популярная группа задач рассматривает ситуации аварийного пролива нефтепродуктов в местах его транспортировки [3, 4]. Соответствующие модели учитывают пористость грунта и, как следствие, тот факт, что количество продукта на поверхности – величина переменная.

В данной статье рассматривается задача расчета формы наземного пятна вследствие аварийного пролива нефтепродуктов из неподвижного резервуара. Она возникла в РУП «Научно-производственный центр по геологии» при создании экспертной системы по реабили-

тации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами. При проливах таких жидкостей, для которых прогнозируемый радиус кругового наземного пятна загрязнения превышает 10 м, необходимо учитывать реальную геометрическую форму этого пятна на основе данных о рельефе окрестности пролива.

**Основная часть.** Исходными данными для вычисления формы наземного пятна загрязнения являются:

1) координаты и высота над уровнем моря  $(x_0, y_0, z_0)$  точки  $O$  – центра пролива нефтепродукта;

2) площадь наземного пятна пролива  $S$ ;

3) координаты и высота над уровнем моря  $(x_i, y_i, z_i)$  точек  $M_i$  окрестности центра пролива. С учетом вязкости пролитой жидкой массы делается предположение о том, что площадь пятна пролива  $S$  постоянна, не зависит от перепадов высот в точках поверхности.

Результатом вычислений является множество пар  $(x_j, y_j)$  координат границ пятна.

Для моделирования границ пятна вводится окружность  $N$  с центром в точке  $O$  радиуса  $R$ .

Вычисление радиуса происходит по следующей формуле:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}. \quad (1)$$

Вычисления границ пятна осуществляются в три этапа.

На первом этапе по координатам известных точек  $M_i$  аппроксимируются координаты точек  $N_j$  на окружности.

При этом придерживаемся следующих трех правил:

1) линейности поверхности;

2) значения высот, которые не могут быть вычислены аппроксимацией, предполагаются равными значению в центре пролива (на рис. 1 это значение 175);

3) при аппроксимации соединять хордой возможно только те точки, угол сектора между которыми не превышает  $90^\circ$ . Суть этих правил станет понятна при построении точек  $N_j$ . На рис. 1 продемонстрировано применение этих правил.

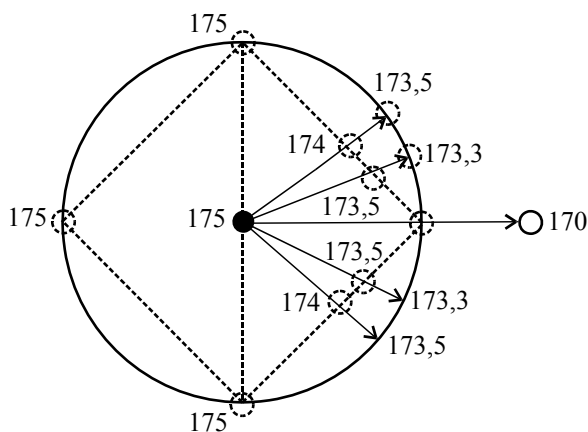


Рис. 1. Предварительные геометрические построения

С помощью линейной аппроксимации на окружности построены пять точек и вычислены значения высот в них. Кроме того, в трех точках предполагается высота, совпадающая с высотой в точке пролива (175). В этих точках значение одной из координат совпадает с соответствующим значением координаты центра окружности, а значение другой координаты отличается на величину  $|R|$ , где  $R$  – радиус окружности.

Для точек  $M_i$  с известными числовыми характеристиками  $(x_i, y_i, z_i)$  вычисляем разности высот:  $\Delta h_i = h_0 - h_i$ .

Их будем использовать для нахождения координат аппроксимируемых точек.

Пусть прямая  $OM_i$  пересекается с окружностью в точке  $N_i$ . Разность высот в точках  $O$  и  $N_i$  обозначим через  $\Delta g_i$ . Аппроксимация  $\Delta g_i$  для точки  $N_i$  на окружности находится через значение  $\Delta h_i$  точки  $M_i$  по формуле

$$\Delta g_i = \Delta h_i \frac{R}{d_i}, \tag{2}$$

где расстояние  $d_i$  между точками  $O$  и  $M_i$  вычисляется по формуле

$$d_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}. \tag{3}$$

Координаты  $(m_i, n_i)$  точки  $N_i$  находятся по формулам

$$m_i = x_0 + (x_i - x_0) \frac{R}{d_i}, \tag{4}$$

$$n_i = y_0 + (y_i - y_0) \frac{R}{d_i}. \tag{5}$$

Аппроксимация других точек на окружности выполняется путем деления хорды  $AB$ , соединяющей близлежащие на окружности уже известные точки пополам (рис. 2).

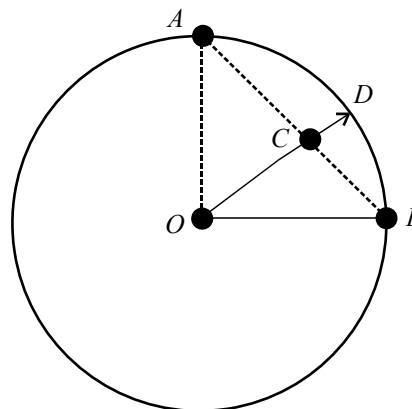


Рис. 2. Аппроксимация точки  $D$  по известным точкам  $A$  и  $B$

Вычисление координат таких точек производится следующим образом. Обозначим числовые характеристики концов хорды  $A$  и  $B$  через  $(x_1, y_1, h_1)$  и  $(x_2, y_2, h_2)$ . Координаты середины хорды  $(x_3, y_3)$  (точка  $C$ ) находятся по формулам:

$$x_3 = \frac{x_1 + x_2}{2}, \tag{6}$$

$$y_3 = \frac{y_1 + y_2}{2}. \tag{7}$$

Полагаем, что

$$\Delta h_3 = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2}{2}. \tag{8}$$

Соответствующая точка  $D$  на окружности – это пересечение вектора  $OC$  с окружностью.

На **втором этапе** по найденным точкам из множества  $N$  нужно получить координаты вершин многоугольника, задающего фигуру пятна. Для этого выбираем минимальное значение среди вычисленных разностей высот и соответствующей точке окружности  $N_k$  ставим в соответствие вектор единичной длины  $l_k$ :

$$\min_j \Delta g_j = \Delta g_k, \tag{9}$$

при этом полагаем, что  $l_k = 1$ .

Остальным аппроксимированным точкам окружности ставятся в соответствие векторы, длина которых вычисляется по формуле

$$l_j = 1 + (\Delta g_j - \Delta g_k). \tag{10}$$

Полученные значения принимаем за длины векторов, исходящих из центра пролива (длины векторов от точки  $O$  в направлении точек  $N_j$ ). Соединенные прямой линией концы построенных векторов образуют контур, координаты которого примем за первоначальные координаты границ пятна (многоугольник  $P$ ) (рис. 3).



3. Sakovich N. Ye. *Metody i sredstva likvidatsii posledstviy razlivov nefiti i nefteproduktov: monografiya* [Methods and means of liquidating the consequences of oil spills and oil products. Monograph]. Bryansk, Izdatel'stvo Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii Publ., 2012, 198 p.

4. Lipskiy V. K., Lishtvan I. I. *Tekhnicheskiye sredstva zashchity vodnykh ob'yektov pri avariynykh razlivakh nefiti: monografiya* [Technical means of protection of water objects during emergency oil spills. Monograph]. Novopolotsk, PGU Publ., 2009, 303 p.

5. Vagner A. V., Bukharin S. K., Kochemasov S. G., Priymak V. M. A technique for predicting the volume of environmental contamination of soils and groundwater in the strait of environmentally hazardous substances. *Ekologicheskiy vestnik Rossii* [Ecological Bulletin of Russia], 2004, no. 5, pp. 45–51 (In Russian).

6. Belousova A. P., Gavich I. K., Lisenkov A. B., Popov Ye. V. *Ekologicheskaya gidrogeologiya: uchebnik dlya vuzov* [Ecological hydrogeology: A textbook for high schools]. Moscow, Academkniga Publ., 2006, 397 p.

#### Информация об авторах

**Буснюк Николай Николаевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и технологий. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: busnnn@belstu.by

**Бурмакова Анастасия Владимировна** – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: burmakova@belstu.by

**Смелов Владимир Владиславович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных систем и технологий. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: smw@belstu.by

#### Information about the authors

**Busnyuk Nikolay Nikolaevich** – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Information Systems and Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: busnnn@belstu.by

**Burmakova Anastasiya Vladimirovna** – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: burmakova@belstu.by

**Smelov Vladimir Vladislavovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str, 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: smw@belstu.by

Поступила 13.12.2017