

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЗВЕСИ ПРИ ЗАЛПОВЫХ СБРОСАХ

*В статье предложена инженерная методика расчета распространения взвешенного вещества при его залповых сбросах в водную среду (дампинг грунтов).*

**Ключевые слова:** инженерная методика, неустановившаяся турбулентная диффузия, взвесь, водная среда.

**Введение.** Ежегодно в Азово-Черноморском бассейне при поддержании навигационных глубин на подходных каналах к морским портам извлекаются сотни тысяч кубических метров грунта.

Альтернативными методами, полностью исключаями воздействие материалов дночерпания на морскую среду, являются различные виды использования грунтов для хозяйственных целей. Утилизация незначительных объемов грунтов дноуглубления проводится, в основном, путем намыва их на береговые зоны с целью создания техногенных территорий, в первую очередь для селитебных и военных нужд. Широкому внедрению новых методов мешают трудности материального, технического и организационного характера.

Пока альтернативные технологии использования грунтов дноуглубления не налажены, наиболее распространенным решением проблемы является захоронение этих грунтов в море, так как их основная масса по своим физическим и химическим свойствам, как правило, не может быть утилизирована.

В связи с возросшими объемами сбрасываемых грунтов на шельфе и отсутствием практических рекомендаций, которые позволили бы специалистам (инженерам) осуществлять прогноз распространения взвесей при дампинге грунтов, разработка инженерной методики для расчета транспорта взвешенных веществ является актуальной.

**Целью** настоящего исследования является разработка методических рекомендаций по расчету распространения взвеси при залповых сбросах.

### **1 Общие положения**

1.1 Предлагаемая методика применяется для моделирования распространения взвешенного вещества при его залповых сбросах в водную среду (дампинг грунтов).

1.2 Методика позволяет получить: распределение концентрации взвеси (по вертикали и в горизонтальной плоскости) в облаке загрязнения в разные моменты времени после ее сброса; максимальное и среднее значения концентрации взвеси в контрольном створе; общее количество взвеси, вынесенное за пределы упомянутого створа; площадь заиления дна.

1.3 Математической моделью удобно пользоваться для выполнения расчетов распространения взвеси на небольшие расстояния (например, до контрольных створов, расположенных на расстоянии 500 м).

1.4 При исследовании транспортировки взвешенного вещества на большие расстояния для снижения общего количества расчетов на одном из этапов моделирования необходимо выполнить укрупнение пространственно-временных шагов модели (пп. 4.18-4.21).

### **2 Исходные данные для выполнения расчетов**

2.1 Исходными данными для выполнения расчетов являются данные о

сбрасываемых грунтах дноуглубления, технологии разгрузки судна на отвале, данные, характеризующие природные условия среды в районе дампинга, и справочные материалы.

2.2 Данные, характеризующие грунты дноуглубления, включают:

- гранулометрический состав;
- объемный вес;
- удельный вес;
- удельное сцепление.

Характеристики грунта определяются по результатам инженерно-геологических изысканий либо принимаются нормативные значения для рассматриваемого вида грунтов.

2.3 Технологические параметры, характеризующие дампинг грунта:

- тип грунтоотвозного судна по принципу разгрузки на отвале (через днищевые люки или судно с раскрывающимся корпусом типа «гидроклапп»);
- норма загрузки трюма грунтом. Определяется в соответствии с «Нормами на морские дноуглубительные работы» (РД 31.74. 09-86);
- осадка судна в грузу. Определяется по технической характеристике грунтоотвозного судна;
- ширина, длина и угол поворота до полного открытия створок днищевых дверей (люков) или длина трюма и ширина раскрытия корпуса (для шаланд типа «гидроклапп»). Определяются по технической документации на грунтоотвозные суда;
- время раскрытия створок днищевых дверей (время раскрытия корпуса для шаланд типа «гидроклапп») и время полного опорожнения трюма. Определяются в результате наблюдения за дампингом грунта либо по данным производственной организации владельца судна;
- концентрация взвешенного вещества в момент сброса.

2.4 Данные, характеризующие природные условия в районе дампинга:

- глубина воды на подводном отвале;
- коэффициент турбулентной диффузии. Определяется расчетным путем (п. 3.4);
- средняя скорость течения. Определяется по данным гидрологических изысканий, по имеющимся режимным характеристикам района дампинга либо рассчитывается (п. 3.6).

2.5 Справочные данные для выполнения расчетов включают:

- расстояние до контрольного створа. Для соблюдения рыбохозяйственных норм это расстояние составляет 500 м для водотоков и водоемов и 250 м для прибрежной зоны морей от места сброса грунтов. Для хозяйственно-питьевых и коммунально-бытовых нужд контрольный створ находится на расстоянии 1 км от границ района водопользования на водотоке или водоеме, для прибрежной зоны морей – на ближней границе района водопользования либо зоны санитарной охраны [1];
- допустимое превышение концентрации взвешенных веществ над фоном в контрольном створе. В районах коммунально-бытового водопользования (для прибрежной зоны морей и пресноводных объектов), а также в водных объектах рыбохозяйственного назначения второй категории значение этого параметра составляет 0,75 мг/дм<sup>3</sup>. В случае, если дампинг грунта осуществляется вблизи района хозяйственно-питьевого водопользования, допустимое превышение концентрации взвеси в контрольном створе принимается равным 0,25 мг/дм<sup>3</sup>. Для водных объектов, которые содержат более 30 мг/дм<sup>3</sup> природных минеральных веществ, допускается увеличение концентрации взвешенных веществ в пределах 5% [2];
- скорость осаждения отдельных фракций частиц сбрасываемых грунтов.

Определяется как гидравлическая крупность для среднего диаметра частиц каждой фракции.

### 3 Расчет параметров, входящих в разработанную методику

3.1 Согласно данным натурных измерений [3] в качестве наиболее консервативной оценки общего количества взвеси, оставшейся в воде и участвующей в фазе адвективного переноса и диффузии, может быть принята величина 1-5% общего количества сброшенного грунта.

Можно также использовать зависимость [4], дающую возможность оценивать количество грунта, переходящего во взвешенное состояние при дампинге, с учетом основных факторов: удельного сцепления грунта, стратификации и глубины в районе отвала, а также технологических параметров сброса.

Коэффициент перехода грунта во взвешенное состояние при сбросе в отвал в этом случае рассчитывается по формуле [4]

$$K = 6,214 \frac{\sqrt{H-h}}{C_{cp}} \left( \frac{1}{b} + \frac{1}{l} \right), \quad (1)$$

где  $C_{cp}$  – удельное сцепление сбрасываемого в отвал грунта с учетом его разрыхления (разжижения) в процессе выработки и погрузки в трюм шаланды (землесоса), Па;

$H$  – глубина в районе отвала, м;

$h$  – осадка судна в грузу, м;

$l$  – длина днищевой двери, м;

$b$  – средняя за время разгрузки ширина раскрытия днищевой двери, м.

Определяется по формуле

$$b = 2B \left[ \frac{T_0}{T} \left( 1 - \frac{1}{\alpha} \sin \alpha \right) + \frac{T - T_0}{T} (1 - \cos \alpha) \right], \quad (2)$$

где  $B$  – ширина створки днищевой двери, м;

$T$  – время полного опорожнения трюма, с;

$T_0$  – время полного открытия створок днищевой двери, с;

$\alpha$  – угол поворота створки днищевой двери до полного ее открытия, рад.

3.2 Количество грунта  $Q$ , переходящего во взвешенное состояние при сбросе в подводный отвал, определяется по формуле [4]

$$Q = K \cdot p \cdot V_{сб} \frac{\gamma - \gamma_B}{\gamma_T - \gamma_B} \gamma_T, \quad (3)$$

где  $Q$  – количество взвеси, поступившей в воду, т ;

$K$  – коэффициент перехода грунта во взвешенное состояние при сбросе в отвал, доли единицы;

$p$  – содержание в грунте пылеватых и глинистых частиц, доли единицы;

$V_{сб}$  – объем сброса, м<sup>3</sup> ;

$\gamma$  – объемный вес грунта в трюме шаланды с учетом его разрыхления, т/м<sup>3</sup>;

$\gamma_B$  – объемный вес воды, т/м<sup>3</sup>;

$\gamma_T$  – удельный вес частиц грунта, т/м<sup>3</sup>.

3.3 Значение коэффициента турбулентной диффузии  $D$  принимается постоянным в пределах рассматриваемых пространственно-временных масштабов (масштаб процесса диффузии пятна взвеси после дампинга грунта изменяется в небольших пределах).

3.4 Коэффициент турбулентной диффузии  $D$  рассчитывается по формуле

$$D = g H_{CP} V_{CP} / (MC), \quad (4)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ );  
 $C$  – коэффициент Шези, определяется по формуле [5]

$$C = 33(H / d_3)^{1/6}, \quad (5)$$

где  $d_3$  – эффективный диаметр донных отложений, соответствующий 10% содержания крупных частиц, мм;

$M$  – функция коэффициента Шези

$$M = \begin{cases} 0,7C + 6, & \text{при } 10 < C < 60, \\ 48, & \text{при } C \geq 60. \end{cases} \quad (6)$$

3.5 В расчетах принимается постоянное значение глубины  $H_{CP}$ , равное глубине воды на отвале, и средней скорости течения  $V_{CP}$  (это обусловлено рассматриваемыми пространственно-временными масштабами – до нескольких часов и до нескольких километров).

3.6 При расчете переноса и диффузии загрязняющих веществ можно использовать формулу средней скорости дрейфового течения, предложенную А.В. Карашевым [5]

$$V_{CP} = k_m W_2 \sqrt{3 + 10h_{1\%}}, \quad (7)$$

где  $k_m$  – коэффициент, зависящий от коэффициента Шези  $C$  и определяемый по табл. 1;

$W_2$  – скорость ветра на высоте 2 м над водной поверхностью;

$h_{1\%}$  – средняя для рассматриваемого участка высота волны 1%-ной обеспеченности в системе, м.

Таблица 1 – Значения  $k_m$  в зависимости от коэффициента Шези  $C$

$C$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$k_m$	0,0010	0,0018	0,0027	0,0034	0,0042	0,0050	0,0055	0,0060	0,0064	0,0068

3.7 При полидисперсном составе взвеси расчеты производятся отдельно для каждой фракции ( $i$ ). Общее решение получается путем простой суперпозиции решений для отдельных фракций.

3.8 Характерные скорости осаждения частиц типичных грунтов в зависимости от их размера приведены в [3]. При выполнении расчетов для илистых грунтов следует учитывать, что при операциях драгирования без нарушения их связности (например, с помощью многочерпаковых земснарядов) глинистые частицы будут представлять собой отдельные комочки с размерным составом, соответствующим крупному песку, и будут обладать аналогичными скоростями осаждения. При проведении дноуглубления гидравлическими методами комочки обычно полностью разрушаются и отдельные частицы в общем случае (без учета возможной коагуляции) будут осаждаться в соответствии с законом Стокса.

Согласно [6] значения гидравлической крупности отдельных фракций рекомендуется принимать по унифицированной формуле.

3.9 Выбор модели расчета осуществляется путем сравнения расчетной толщины слоя  $\Delta u_{GP}$  со средней глубиной на акватории:

– при  $\Delta u_{GP} \geq H_{CP}$  – можно использовать двухмерную модель;

– при  $\Delta u_{GP} < H_{CP}$  – используется трехмерная модель.

Предельная толщина слоя  $\Delta u_{GP}$  определяется по формуле

$$\Delta u_{GP} = 2D/u. \quad (8)$$

#### 4 Расчет распространения взвеси в плоской постановке задачи

4.1 Исходными данными для расчета являются:

$C_0$  – концентрация примеси в момент сброса, мг/дм<sup>3</sup>;

$H_{CP}$  – средняя глубина на акватории, м;

$V_{CP}$  – средняя скорость течения, м/с;

$u$  – гидравлическая крупность фракции взвеси, см/с;

$D$  – коэффициент турбулентной диффузии, м<sup>2</sup>/с.

4.2 Пятно взвеси представляется кругом. Его начальный радиус  $r_0$  может быть принят на основе визуальных оценок характерного масштаба видимой поверхностной части пятна загрязнения непосредственно после сброса. При отсутствии данных или возможностей проведения таких наблюдений  $r_0$  определяется, исходя из площади ( $\omega$ ) сбросного отверстия в днище грунтоотвозного судна, по формуле

$$r_0 = \sqrt{\frac{\omega}{\pi}}, \quad (9)$$

где  $r_0$  – начальный радиус облака взвеси, м;

$\omega$  – площадь днищевой двери (люка) грунтоотвозного судна, м<sup>2</sup>.

4.3 Облако взвеси по горизонтали разбивается на кольца с шагом  $\Delta r$ . Шаг  $\Delta r$  определяется по формуле

$$\Delta r = \frac{r_0}{n_0}, \quad (10)$$

где  $n_0$  – количество колец в облаке загрязнения в начальный момент времени.

4.4 Оптимальное начальное количество колец  $n_0$  в пятне загрязнения принимается в зависимости от значения параметра  $f$  (см. п. 4.11):  $n_0 = 2-3$  при  $f = 0$ ;  $n_0 = 3-4$  при  $f = 0,1$  и  $n_0 = 4-5$  при  $f = 0,2$ .

4.5 Облако взвеси рассматривается через равные интервалы времени  $\Delta t$ . Шаг во времени  $\Delta t$  рассчитывается по формуле

$$\Delta t = \frac{\Delta r^2}{4D}, \quad (11)$$

где  $\Delta r$  – шаг в пространстве, м.

4.6 Количество интервалов времени до контрольного створа  $K_{KC}$  определяется по формуле

$$K_{KC} = \frac{T_{KC}}{\Delta t}, \quad (12)$$

где  $T_{KC}$  – время перемещения облака взвеси до контрольного створа, с.

4.7 Время перемещения облака взвеси до контрольного створа  $T_{KC}$  рассчитывается по формуле

$$T_{KC} = \frac{S_{KC}}{V_{CP}}, \quad (13)$$

где  $S_{KC}$  – расстояние до контрольного створа, м.

4.8 Определяются коэффициенты  $b$  и  $d$  по формулам:

$$b = \frac{2n}{2n-1}; \quad d = \frac{2(n-1)}{2n-1}, \quad (14)$$

где  $n$  – номера колец шириной  $\Delta r$ .

4.9 Проверяется условие  $b + d = 0,5$ .

4.10 Параметр  $a$  принимаем равным 0,25.

4.11 Рассчитывается параметр  $f$  по формуле

$$f = \frac{u\Delta t}{2H}. \quad (15)$$

4.12 При расчете  $a$  и  $f$  должно выполняться условие  $(a + f) < 0,5$ .

4.13 В случае, когда условие, изложенное в п. 4.12, не выполняется, следует

уменьшить  $\Delta r$  и рассчитать новое значение параметра  $f$  (см. п. 4.11).

4.14 В начальный момент времени в первых  $n_0$  колец пятна взвеси, начиная от центра, записывается начальная концентрация взвеси  $C_0$ .

4.15 Концентрация вещества в кольцах пятна в следующий момент времени (через  $\Delta t$ ) рассчитывается по формуле

$$C_{k+1,n} = (1 - 2a - 2f)C_{k,n} + a(bc_{k,n+1} + dC_{k,n-1}). \quad (16)$$

4.16 Расчет ведется пошагово от одного момента времени к другому в пределах всего рассматриваемого периода времени  $K_{КС}$ .

4.17 В каждый момент времени для консервативного вещества должно выполняться следующее условие:

$$\sum_{n=1}^{N_k} (2n-1)C_{k,n} = (1-2f)^k C_0 N_0^2, \quad (17)$$

где  $N_k$  и  $N_0$  – количество колец в облаке взвеси в  $k$ -ый и в начальный ( $k = 0$ ) моменты времени;

$C_0$  – концентрация взвеси в облаке в начальный момент времени;

$C_{k,n}$  – концентрация вещества в  $k$ -ый момент времени в кольце  $n$ .

4.18 Если размеры колец очень малы, то расчет выполняется до момента времени, когда облако взвеси распространяется на 20-50 колец. После этого кольца объединяются по  $\mu = 2, 3 \dots$ . Новая ширина колец  $\Delta r_2$  будет равна  $\mu \Delta r_1$ .

4.19 Концентрация усредняется с учетом площади колец

$$C_{2kj} = \frac{\sum_{\mu(j-1)+1}^{\mu j} (2n-1)C_{1kn}}{\sum_{\mu(j-1)+1}^{\mu j} (2n-1)}, \quad \text{при } j=1, 2, \dots, n_k/\mu, \quad (18)$$

где  $C_{2kj}$  – концентрация в  $j$ -том кольце, новая ширина которого  $\Delta r_2$  в  $k$ -ый момент времени.

4.20 Определяется новый шаг во времени  $\Delta t_2 = \mu^2 \Delta t_1$  и расчет продолжается. При необходимости укрупнение можно повторить.

4.21 После укрупнения проверку расчетов необходимо выполнять по условию (17), заменив в правой части  $N_0^2$  на  $(N_0/\mu)^2$ .

4.22 Расчеты выполняются в табличной форме.

### **5 Расчет распространения взвеси в пространственной постановке задачи**

5.1 Исходные данные используются те же, что и в п. 4.1.

5.2 Область загрязнения представляется в виде цилиндра с высотой  $H_{CP}$ , начальный радиус которого  $r_0$  определяется согласно п. 4.2.

5.3 Облако взвеси по горизонтали разбивается на кольца с шагом  $\Delta r$ . Шаг  $\Delta r$  определяется по формуле (10).

5.4 По вертикали горизонтальными плоскостями облако взвеси разбивается на слои с шагом  $\Delta y$ . Шаг  $\Delta y$  определяется по формуле

$$\Delta y = \frac{H_{CP}}{M_0}, \quad (19)$$

где  $M_0$  – количество слоев в облаке загрязнения.

5.5 Оптимальное количество слоев по глубине, необходимое для расчетов при различных значениях  $f$ , составит 2-3.

5.6 Облако взвеси рассматривается через равные интервалы времени  $\Delta t$ . Шаг во времени  $\Delta t$  рассчитывается по формуле

$$\Delta t = \frac{\Delta r^2}{8D}. \quad (20)$$

5.7 Количество интервалов времени до контрольного створа  $K_{КС}$  определяется по формуле (12).

5.8 Время перемещения облака взвеси до контрольного створа  $T_{КС}$  рассчитывается по формуле (13).

5.9 Определяются коэффициенты  $b$  и  $d$  по формулам (14).

5.10 Проверяется условие п. 4.9.

5.11 При  $\Delta r = \Delta y$  параметры  $a_1 = a_2 = 0,125$ . Если, по условию задачи не представляется возможным приравнять  $\Delta r$  и  $\Delta y$ , то параметры  $a_1$  и  $a_2$  рассчитываются по формулам:

$$a_1 = \frac{D\Delta t}{\Delta r^2}, \quad a_2 = \frac{D\Delta t}{\Delta y^2}. \quad (21)$$

5.12 Должно выполняться условие

$$(a_1 + a_2) < 0,5. \quad (22)$$

5.13 Рассчитывается параметр  $f$  по формуле

$$f = \frac{u\Delta t}{2\Delta y}. \quad (23)$$

5.14 Помимо условия (5.12) необходимо, чтобы выполнялось условие

$$f < a_2. \quad (24)$$

5.15 В случае, если условия, изложенные в пп. 5.12 и 5.14, не выполняются, следует уменьшить  $\Delta r$  и  $\Delta y$ , рассчитать новые значения параметров  $\Delta t$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  и  $f$ .

5.16 В  $n_0$  первых колец во всех слоях, начиная от центра пятна, записывается начальная концентрация взвеси  $C_0$ .

5.17 Концентрация вещества в следующий момент времени через  $\Delta t$  для водной толщи (25, 28), поверхностного (26, 29) и придонного (27 и 30) слоев рассчитывается по формулам:

$$C_{k+1,n,m} = (1 - 2a_1 - 2a_2)C_{k,n,m} + a_1(bC_{k,n+1,m} + dC_{k,n-1,m}) + (a_2 - f)C_{k,n,m+1} + (a_2 + f)C_{k,n,m-1}, \quad (25)$$

$$C_{k+1,n,1} = (1 - 2a_1 - a_2 - f)C_{k,n,1} + a_1(bC_{k,n+1,1} + dC_{k,n-1,1}) + (a_2 - f)C_{k,n,2}, \quad (26)$$

$$C_{k+1,n,M} = (1 - 2a_1 - a_2 - f)C_{k,n,M} + a_1(bC_{k,n+1,M} + dC_{k,n-1,M}) + (a_2 + f)C_{k,n,M-1}, \quad (27)$$

при  $\Delta r = \Delta y$ :

$$C_{k+1,n,m} = 0,5C_{k,n,m} + 0,125(bC_{k,n+1,m} + dC_{k,n-1,m}) + (0,125 - f)C_{k,n,m+1} + (0,125 + f)C_{k,n,m-1}, \quad (28)$$

$$C_{k+1,n,1} = (0,625 - f)C_{k,n,1} + 0,125(bC_{k,n+1,1} + dC_{k,n-1,1}) + (0,125 - f)C_{k,n,2}, \quad (29)$$

$$C_{k+1,n,M} = (0,625 - f)C_{k,n,M} + 0,125(bC_{k,n+1,M} + dC_{k,n-1,M}) + (0,125 + f)C_{k,n,M-1}. \quad (30)$$

5.18 Расчет ведется пошагового от одного момента времени к другому в пределах всего рассматриваемого периода времени  $K_{КС}$ .

5.19 В каждый момент времени для консервативного вещества должно выполняться следующее условие

$$\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_k} (2n-1)C_{k,n,m} = C_0 M_0 N_0^2 - 2f \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{n=1}^{N_{k-1}} (2n-1)C_{i,n,M}, \quad (31)$$

где  $N_k$  – количество колец в облаке взвеси в  $k$ -ый момент времени;

$M_0$  и  $N_0$  – количество слоев и колец в облаке в начальный момент времени;

$C_0$  – концентрация взвеси в облаке в начальный момент времени;

$C_{i,n,M}$  – концентрация вещества в  $i$ -ый момент времени в кольце  $n$  в придонном слое.

5.20 Результаты расчета подаются набором таблиц, каждая из которых соответствует определенному моменту времени (например, табл. 4).

### **6 Расчет распространения вещества в потоке при залтовом сбросе**

Исходные данные. Грунты дноуглубления сбрасываются в подводный отвал на р. Дунай. Начальная концентрация взвеси в точке сброса грунта  $800 \text{ мг/дм}^3$ . Гранулометрический состав донных грунтов и гидравлическая крупность фракций

приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Гранулометрический состав и физические свойства грунтов п. Рени

№ пробы	Содержание фракции, %								Плотность, т/м <sup>3</sup>
	>1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	≤0,005	
Суглинки	0,05	0,65	15,33	13,30	23,80	19,43	9,54	17,90	1,97
<i>и</i>	–	9,59	4,42	1,38	0,32	0,05	0,003	0,0003	–

Средняя скорость течения на расчетном участке составляет  $V_{CP} = 0,45$  м/с, средняя глубина на расчетном участке  $H_{CP} = 20,0$  м. Коэффициент Шези принимается равным  $50 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$ . Начальный радиус пятна загрязнения 5 м.

Решение (для фракции  $u = 0,32$  см/с в пространственной постановке)

$$D = 9,8 \cdot 20 \cdot 0,45 / (50 \cdot (0,7 \cdot 50 + 6)) = 0,0430, \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\Delta t = 25 \text{ с};$$

$$f_1 = 0,0032 \cdot 25 / (2 \cdot 6,67) = 0,0060;$$

$$a_1 = 0,0430 \cdot 25 / 1,67^2 = 0,3872;$$

$$a_2 = 0,0430 \cdot 25 / 6,67^2 = 0,0242.$$

Время пересечения контрольного створа пятном взвеси составляет  $250/0,45 = 556$  с.

Количество интервалов времени до контрольного створа равно  $556/25 = 22$ .

В табл. 3 приведены исходные данные и результаты промежуточных расчетов параметров основной зависимости.

Таблица 3 – Исходные данные

Параметр	Значение
Расстояние до контрольного створа $S_{КС}$ , м	250
Средняя глубина $H$ , м	20,0
Средняя скорость $V$ , м/с	0,45
Концентрация взвеси в точке сброса, мг/дм <sup>3</sup>	800
Коэффициент турбулентной диффузии $D$ , м <sup>2</sup> /с	0,0430
Начальный радиус пятна загрязнения $r_0$ , м	5,00
Толщина слоя по глубине $\Delta y$ , м	6,67
Ширина колец $\Delta r$ , м	1,67
Шаг во времени $\Delta t$ , с	25
Гидравлическая крупность $u$ , см/с	0,32
Содержание фракции в грунте, %	23,8
Концентрация фракции в точке сброса, мг/дм <sup>3</sup>	190,4
Параметр $f$	0,0060
Параметр $a_1$	0,3872
Параметр $a_2$	0,0242
Количество интервалов времени до пересечения контрольного створа	22

При расчете использованы формулы (25-27). В табл. 4 приведены фрагменты сечений облака взвеси в разные моменты времени. В последних двух столбцах выполнена проверка правильности расчета в соответствии с равенством (31).

Таблица 4 – Распределение значений концентрации фракции взвеси ( $u = 0,32$  см/с)

n	2n-1	b	d	C <sub>k,n,m</sub>			(31) часть	
				m=1	2	3 (дно)	левая	правая
k=0								
1	1	2,00000	0,00000	190,400	190,400	190,400	5140,80	5140,80
2	3	1,33333	0,66667	190,400	190,400	190,400		
3	5	1,20000	0,80000	190,400	190,400	190,400		
k=6								
1	1	2,00000	0,00000	105,43619	112,97421	113,63670	5017,49	5017,49
2	3	1,33333	0,66667	92,03542	98,81804	99,36176		
3	5	1,20000	0,80000	72,57517	77,57158	77,99638		
4	7	1,14286	0,85714	48,47713	51,86652	52,11176		
5	9	1,11111	0,88889	28,87926	30,64997	30,78562		
6	11	1,09091	0,90909	13,76913	14,61600	14,66035		
7	13	1,07692	0,92308	5,70340	5,95682	5,97168		
8	15	1,06667	0,93333	1,57382	1,64500	1,64500		
9	17	1,05882	0,94118	0,36047	0,36047	0,36047		
k=12								
1	1	2,00000	0,00000	61,34523	69,06839	70,38003	4894,26	4894,26
2	3	1,33333	0,66667	56,64335	63,75922	64,95652		
3	5	1,20000	0,80000	48,31771	54,32669	55,33144		
4	7	1,14286	0,85714	37,93932	42,60826	43,37243		
5	9	1,11111	0,88889	27,40502	30,71028	31,24173		
6	11	1,09091	0,90909	18,09838	20,23649	20,56747		
7	13	1,07692	0,92308	10,90170	12,14611	12,33254		
8	15	1,06667	0,93333	5,92696	6,58032	6,67203		
9	17	1,05882	0,94118	2,89480	3,19596	3,23597		
10	19	1,05263	0,94737	1,24595	1,36832	1,38273		
11	21	1,04762	0,95238	0,46865	0,51003	0,51447		
k=22								
1	1	2,00000	0,00000	34,20730	40,76781	<b>42,65832</b>	4689,76	4689,76
2	3	1,33333	0,66667	32,56559	38,80342	40,59791		
3	5	1,20000	0,80000	29,50965	35,14768	36,76425		
4	7	1,14286	0,85714	25,44332	30,28575	31,66712		
5	9	1,11111	0,88889	20,86183	24,81149	25,93048		
6	11	1,09091	0,90909	16,25434	19,31121	20,16963		
7	13	1,07692	0,92308	12,02289	14,26536	14,88830		
8	15	1,06667	0,93333	8,43224	9,98946	10,41638		
9	17	1,05882	0,94118	5,59935	6,62125	6,89710		
10	19	1,05263	0,94737	3,51412	4,14665	4,31427		
11	21	1,04762	0,95238	2,08001	2,44837	2,54392		
12	23	1,04348	0,95652	1,15818	1,35945	1,41036		
13	25	1,04000	0,96000	0,60484	0,70766	0,73291		
14	27	1,03704	0,96296	0,29516	0,34407	0,35567		
15	29	1,03448	0,96552	0,13402	0,15556	0,16047		

Примечание. 1. Максимальная концентрация фракции в контрольном створе составляет 42,7 мг/дм<sup>3</sup>.

2. За пределы контрольного створа будет вынесено  $4689,8 / 5140,8 * 100 = 91,2\%$  фракции от ее количества в точке сброса.

**Выводы.** 1. Предложенные рекомендации позволят специалистам (инженерам) осуществлять расчет распространения взвесей при дампинге грунтов.

2. Методика позволяет получить: распределение концентрации взвеси (по вертикали и в горизонтальной плоскости) в облаке загрязнения в разные моменты времени после ее сброса; максимальное и среднее значения концентрации взвеси в контрольном створе; общее количество взвеси, вынесенное за пределы упомянутого створа; площадь заиления дна.

3. На примере сброса грунтов дноуглубления в подводный отвал на р. Дунай получено распределение взвеси от момента сброса до контрольного 250-метрового створа, в котором максимальная концентрация рассмотренной фракции ( $u = 0,32$  см/с) составила  $42,7$  мг/дм<sup>3</sup>. За пределы контрольного створа будет вынесено 91,2% фракции от ее количества в точке сброса.

### Список литературы

1. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 15 грудня 1994 р. N 116 «Про затвердження Інструкції про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 22 грудня 1994 р. за N 313/523. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0313-94>
2. СанПиН 4630-88 Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/v4630400-88>
3. Гончаров А.А., Ляшенко А.Ф., Шлыгин И.А. Исследование и моделирование процессов рассеяния различных веществ при захоронении отходов в моря и океаны // Обзорная информация. Серия: океанология. – М.: ВНИИГМИ-МЦД, 1982. – 30 с.
4. Беленко С.Л., Прозоров А.А. Оценка количества грунта, переходящего во взвешенное состояние при дампинге // Проблемы гидротехнического строительства на морском транспорте. – М.: В/О “Мортехинформреклама”, 1989. – С. 27-31.
5. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. А.В. Караушева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 288 с.
6. Дроздов В.Б. Унифицированная формула гидравлической крупности наносов // Исследование влияния гидрометеорологических факторов на строительство и эксплуатацию водных путей и портов. – М.: В/О “Мортехинформреклама”, 1987. – С. 37-39.

### Методичні рекомендації для розрахунку розповсюдження зависі при залпових скидах.

**Горун В.В.**

*У статті запропонована інженерна методика розрахунку розповсюдження зависі при її залпових скидах у водне середовище (дампінг ґрунтів).*

**Ключові слова:** *інженерна методика, нестала турбулентна дифузія, зависла речовина, водне середовище.*

### **Recommendation on calculation of suspension diffusion under sea disposal. V. Gorun**

*The engineering design procedure of calculation of suspension diffusion under sea disposal (dumping of soils) is given in this work.*

**Keywords:** *engineering design procedure, unsteady turbulent diffusion, suspended matter, water environment.*