

## 1.4. Расчет зоны ЧС (зоны затопления) при наводнениях

*Наводнение* – (природное явление) – значительное затопление местности в результате подъема уровня воды в реке, озере, вызываемого либо таянием снега, ледников (половодье); либо выпадением большого количества осадков (паводок); либо в результате увеличения сопротивления стоку воды при запорах (зажорах), завалах русла реки (запорные и завальные наводнения). Возможны наводнения, вызванные действием ветра (нагонные), действием цунами и при прорывах плотин (дамб) при переполнении бассейна реки, моря.

Рассмотрим расчет очага поражения (зоны затопления), вызванного ливневыми дождями.

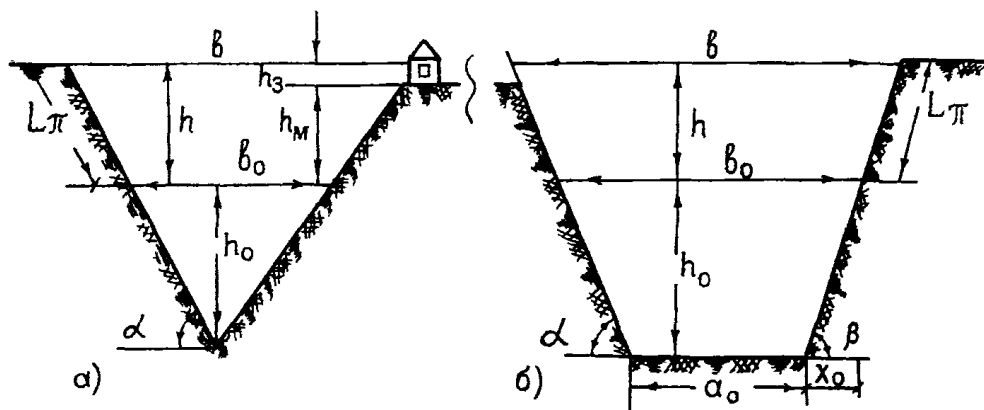


Рис. 1.2. Схема русла реки

а) треугольное русло; б) трапециевидальное русло

Исходные данные для расчета очага поражения при треугольном и трапециевидальном русле реки:

|                              |                   |
|------------------------------|-------------------|
| ширина реки до паводка       | - $B_0$ , м;      |
| ширина дна реки              | - $a_0$ , м;      |
| глубина реки до паводка      | - $h_0$ , м;      |
| скорость течения реки        | - $V_0$ , м/с;    |
| угол наклона береговой черты | - $\alpha, \beta$ |

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2h_0}{b_0} \text{ - треугольное русло;}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_0}{x_0} - \text{трапецидальное русло, } x_0 = \frac{b_0 - a_0}{2}$$

$J$ , мм/ч – интенсивность дождя;

$F$ , км<sup>2</sup> – площадь выпадения осадков;

$h_m$  – высота места, м;

$h_z$  – глубина затопления, м;

параметр профиля реки,  $M = 2$  (треугольный),

$M = 1,4$  (трапецидальный);

а) треугольное русло реки (рис. 1.2, а):

1) расход воды до выпадения осадков ( $Q_0$ )

$$Q_0 = \frac{1}{2} h_0 \cdot B_0 \cdot V_0, \text{ (м}^3\text{/с);} \quad (1.14)$$

2) расход воды в реке при выпадении осадков и образовании половодья

( $Q_{\max}$ ) определяется по формулам:

$$Q_{\max} = V_{\max} \cdot S \quad (1.15)$$

или

$$Q_{\max} = \frac{J \cdot F}{3,6} + Q, \quad (1.16)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения потока при прохождении паводка, м<sup>2</sup>;

$V_{\max}$  – максимальная скорость потока при прохождении паводка, м/с,  
равная

$$V_{\max} = V_0 \left( \frac{h_0 + h}{h_0} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad (1.17)$$

$J$  – интенсивность осадков, мм/час;

$F$  – площадь, на которой выпадают осадки, км<sup>2</sup>;

3) высота подъема воды в реке при прохождении паводка ( $h$ )

определяется из (1.14...1.16)

$$h = \left( \frac{2 \cdot Q_{\max} \cdot \sqrt[3]{h_0^5}}{V_0} \right)^{\frac{3}{8}} - h_0, \text{ (м);} \quad (1.18)$$

4) ширина затопляемой территории при прохождении паводка ( $L_n, L_l$ )

$$L_{\text{л}} = h/\sin\alpha; L_{\text{л}} = h/\sin\alpha, (\text{м}); \quad (1.19)$$

б) трапецеидальное русло реки (рис. 1.2, б):

в этом случае для оценки ширины затопливаемой территории можно использовать формулы (1.19), заменив значение глубины реки  $h_0$  на соотношение

$$h_0 = \frac{b_0 - a_0}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta} = \frac{b}{2\text{ctg}\alpha}. \quad (1.20)$$

Формула 1.20 справедлива при  $v \gg h_0$ ,  $b_0 \gg a_0$ ;  $\alpha = \beta < 10 - 15^\circ$ .

После преобразования (1.20) высота подъема воды равна

$$h = \left( \frac{2Q_{\text{max}} \cdot \sqrt[3]{(b_0 / 2\text{ctg}\alpha)^5}}{b_0 V_0} \right)^{3/8} - \frac{b_0}{2\text{ctg}\alpha}. \quad (1.21)$$

Максимальная скорость потока затопления равна

$$V_3 = V_{\text{max}} \cdot f, \quad (1.22)$$

где  $f$  – параметр смещения объекта от русла реки (табл. 1.11).

Глубина затопления определяется по соотношению (рис. 1.2, а, б)

$$h_3 = h - h_{\text{м}}, \quad (1.23)$$

где  $h_{\text{м}}$  – высота места объекта (превышение места объекта над уровнем реки до паводка, т.е. в обычных условиях), м.

Таблица 1.11

Параметр  $f$  смещения объекта от русла реки и профиля русла, м

| $h_3/h$ | $M = 1,25$ | $M = 1,5$ | $M = 2$ |
|---------|------------|-----------|---------|
| 0,1     | 0,2        | 0,23      | 0,3     |
| 0,2     | 0,38       | 0,43      | 0,5     |
| 0,4     | 0,6        | 0,64      | 0,72    |
| 0,6     | 0,76       | 0,84      | 0,96    |
| 0,8     | 0,92       | 1,05      | 1,18    |

|     |      |     |      |
|-----|------|-----|------|
| 1,0 | 1,12 | 1,2 | 1,32 |
|-----|------|-----|------|

Поражающее действие паводка определяется максимальной скоростью потока затопления ( $V_3$ ) и глубиной затопления ( $h_3$ ) (табл. 1.12).

### Пример.

Определить последствия паводка, вызванного ливневыми дождями, на территории ЛДК. На нижнем складе комбината – деревянные сборные дома, кирпичное здание (3-этажное) администрации, пирс и сплавной буксир. Интенсивность осадков  $J = 50$  мм/ч, площадь выпадения  $F = 150$  км<sup>2</sup>, ширина реки  $B_0 = 100$  м, глубина  $h_0 = 2,5$  м, скорость течения  $V_0 = 1$  м/с, русло реки треугольное ( $M = 2$ ) угол наклона берегов  $\alpha = \beta = 4,5$ , высота места  $h_m = 2$  м.

### Решение.

1. Определяем расход воды до выпадения осадков

$$Q = \frac{1}{2} h_0 \cdot b_0 \cdot V_0 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 100 \cdot 1 = 125 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Определяем расход воды после выпадения осадков

$$3. Q_{\max} = \frac{J \cdot F}{3,6} + Q, \quad Q_{\max} = \frac{50 \cdot 150}{3,6} + 125 = 2208 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таблица 1.12

Поражающее действие паводка волны затопления и волны  
прорыва гидротехнического объекта

| Объекты                                      | Параметры волны, вызывающие разрушения |        |         |        |         |        |
|----------------------------------------------|----------------------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|
|                                              | слабые                                 |        | средние |        | сильные |        |
|                                              | h, м                                   | V, м/с | h, м    | V, м/с | h, м    | V, м/с |
| Промышленные объекты с легким каркасом       | 2,0                                    | 1,0    | 4,0     | 2,0    | 5,0     | 2,5    |
| Промышленные здания с ж/б каркасом           | 4,0                                    | 1,5    | 9,0     | 3,0    | 12      | 3,0    |
| Кирпичные дома<br>1 – 2 этажн.<br>> 3 этажн. | 2,0                                    | 1,0    | 3,0     | 2,0    | 4,0     | 2,5    |
|                                              | 2,5                                    | 1,5    | 4,0     | 2,5    | 6,0     | 3,0    |
| Деревянные дома                              | 1,0                                    | 1,0    | 2,5     | 1,5    | 3,5     | 2,0    |
| Сборные дома                                 | 1,0                                    | 1,0    | 2,5     | 1,5    | 3,5     | 2,0    |
| Пирс                                         | 1,5                                    | 1,0    | 3,0     | 4,0    | 4,0     | 6,0    |

|                   |     |     |     |     |         |         |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|---------|---------|
| Плав. кран        | 2,5 | 1,5 | 5,0 | 1,5 | 7,0     | 2,0     |
| Суда до $h = 2$ м | 2,0 | 1,5 | 4,0 | 1,5 | 5,0     | 2,0     |
| Мосты             | -   | -   | 0,5 | 1,0 | 1,0–2,0 | 1,5–2,0 |

Примечание:

- 1) высота потока выше проезжей части (для мостов);
- 2) течение потока  
слабое при  $V_3 < 0,5$  м/с,  
среднее –  $0,5 < V_3 < 1$  м/с,  
быстрое –  $1 < V_3 < 2$  м/с,  
очень быстрое –  $V_3 > 2$  м/с;
- 3) при других значениях  $h_3$  и  $V_3$  для оценки поражающего действия потока можно использовать соотношение  $h \cdot V = \text{const}$

4. Определяем высоту подъема воды при прохождении паводка

$$h = \left( \frac{2 \cdot Q_{\max} \cdot \sqrt[3]{h_0^5}}{100 \cdot 1} \right)^{\frac{3}{8}} - h_0$$

$$h = \left( \frac{2 \cdot 2208 \sqrt[3]{2,5^5}}{100 \cdot 1} \right)^{\frac{3}{8}} - 2,5 \cong 4,85, \text{ м.}$$

4. Определяем ширину затопливаемой территории

$$L_{\Pi} = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{4,85}{0,07} = 70 \text{ м.}$$

5. Определяем максимальную скорость потока в русле реки при паводке

$$V_{\max} = V_0 \left( \frac{h_0 + h}{h_0} \right)^{\frac{2}{3}};$$

$$V_{\max} = 1,03 \sqrt[3]{\left( \frac{2,5 + 4,85}{2,5} \right)^2} = 2,10 \text{ м/с.}$$

6. Определяем максимальную скорость потока затопления  $V_3$

$$V_3 = V_{\max} \cdot f,$$

$f$  – параметр смещения объекта от русла реки (табл. 1.11), зависит от отношения  $h_3/h$

$$\text{при } \frac{h_3}{h} = \frac{h - h_m}{h} = \frac{4,85 - 2}{4,85} = 0,6 \quad f=0,6, \text{ тогда}$$

по табл. 1.11 (при  $\frac{h_3}{h} = 0,6$  и  $M = 2$ ) находим  $f = 0,96$ .

$$V_3 = 2,1 \times 0,96 \cong 2 \text{ м/с};$$

7. Поражающее действие паводка оцениваем по табл. 1.12 ( $h = 2,85$  м,  $V = 2$  м/с).

Кирпичные дома, пирс и катер получают средние повреждения; плавкран – слабые, сборные дома будут разрушены полностью.

*Выводы и предложения:* Для уменьшения потерь и предотвращения ущерба от паводков необходимо поставить дамбу высотой 2,5 – 3 м на правом берегу реки.

Таблица 1.13

Варианты для расчета очага поражения при наводнении

| № п/п                      | Ширина реки, $v_0$ , м;<br>ширина дна, $a_0$ | Глубина реки, $h_0$ , м | Высота места, $h_m$ , м | Скорость воды, $V_0$ , м/с | Угол наклона, град | Интенсивность дождя, $J$ , мм/ч | Площадь выпадения осадков, $F$ , км <sup>2</sup> |
|----------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|
| Русло треугольного профиля |                                              |                         |                         |                            |                    |                                 |                                                  |
| 1                          | 200                                          | 5                       | 2                       | 2                          | 5                  | 30                              | 100                                              |
| 2                          | 100                                          | 4                       | 3                       | 1                          | 2°30'              | 40                              | 150                                              |
| 3                          | 100                                          | 3                       | 2                       | 2                          | 3                  | 50                              | 200                                              |
| 4                          | 100                                          | 3                       | 2                       | 1                          | 5                  | 100                             | 100                                              |
| 5                          | 300                                          | 5                       | 3                       | 2                          | 4                  | 40                              | 200                                              |

|                                |        |   |   |     |       |     |     |
|--------------------------------|--------|---|---|-----|-------|-----|-----|
| 6                              | 300    | 5 | 2 | 1   | 3     | 50  | 200 |
| 7                              | 200    | 5 | 3 | 1,5 | 2     | 70  | 100 |
| 8                              | 100    | 5 | 2 | 2   | 4     | 50  | 100 |
| 9                              | 200    | 4 | 1 | 1   | 4     | 60  | 100 |
| 10                             | 100    | 4 | 1 | 2   | 3     | 40  | 150 |
| 11                             | 200    | 8 | 3 | 1   | 3     | 40  | 150 |
| Русло трапецеидального профиля |        |   |   |     |       |     |     |
| 12                             | 100/20 | 5 | 2 | 1   | 2°30' | 50  | 100 |
| 13                             | 100/10 | 4 | 3 | 2   | 2°50' | 100 | 100 |
| 14                             | 100/10 | 3 | 2 | 3   | 3     | 50  | 200 |
| 15                             | 200/20 | 5 | 2 | 1   | 2     | 60  | 200 |
| 16                             | 200/20 | 3 | 2 | 1,5 | 5     | 50  | 100 |
| 17                             | 200/20 | 2 | 4 | 2   | 4     | 40  | 100 |
| 18                             | 300/30 | 3 | 3 | 1   | 4     | 30  | 100 |
| 19                             | 300/30 | 8 | 2 | 2   | 3     | 30  | 200 |
| 20                             | 500/40 | 5 | 3 | 1   | 3     | 100 | 150 |