

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАГРУЖЕННОЙ ОДИНОЧНОЙ ПИРАМИДАЛЬНОЙ СВАИ

Матус Ю.В.

Теоретическое определение параметров совместной работы с грунтом основания горизонтально нагруженной одиночной пирамидальной сваи проведено как для жесткой фундаментной конструкции, находящейся на линейно-деформируемом основании, характеризуемом коэффициентом постели, линейно изменяющимся с глубиной.

При выводе теоретических формул были приняты следующие допущения:

- свая является абсолютно жесткой по сравнению с грунтовым основанием;
- грунтовое основание рассматривается как линейно-деформируемая среда, характеризуемая коэффициентом постели;
- коэффициент постели при неравномерном сжатии основания сваи в горизонтальном направлении изменяется с глубиной по линейному закону, а интенсивность его распределения поперек рабочей грани предполагается постоянной на любом горизонте;
- силы трения по боковым граням сваи отсутствуют.

Под действием горизонтальной силы Q , приложенной на высоте H от поверхности грунта, свая длиной l повернется на угол ν вокруг центра поворота – точки нулевых перемещений (т.н.п.) – точки A , расположенной на продольной оси сваи на глубине l_0 , и при этом продольная ось сваи перейдет из положения OAB в положение CAD , сохранив свою прямолинейность (рис. 1).

Любое линейное распределение по глубине коэффициента постели при неравномерном сжатии основания в горизонтальном направлении можно описать выражением

$$K_{u,z} = K_u [m + k (l - z)], \quad (1)$$

где K_u – абсцисса линейной эпюры коэффициента постели в уровне поверхности грунта (при треугольной с вершиной вверху эпюре коэффициента) и для остальных типов линейной эпюры – в уровне острия сваи.

m – безразмерный коэффициент, принимающий значения 1 либо 0;
 k – параметр, характеризующий наклон боковой стороны эпюры,

$$k = (K_{u,0} - K_{u,l}) / (l \cdot K_u). \quad (2)$$

Значения m и k для типов линейных эпюр коэффициента постели $K_{u,z}$, а именно, треугольных с вершиной вверху (А) и внизу (Д) трапецеидальных с большим основанием вверху (Б) и внизу (Г) и прямоугольной эпюры (В) приведены на рис. 1.

Формулы для определения перемещения u_z , горизонтального реактивного давления $s_{x,z}$ на сваю на любом горизонте, а также глубины горизонтов, где действуют максимальные давления, сведены в таблицу 1.

Закономерность изменения с глубиной реактивного давления в зависимости от формы эпюры коэффициента постели характеризуется линейной (при прямоугольной эпюре коэффициента) и в остальных случаях – параболической эпюрами давления грунта. Отрицательные реактивные давления развиваются выше т.н.п. по передней, а положительные – ниже т.н.п. по задней рабочим граням сваи.

Для установления глубины горизонта действия максимального реактивного давления исследовали на экстремум функцию σ и координату z горизонта получали приравниванием к нулю первой производной функции давления.

$$z = 0,5 (l + l_0 + m/k). \quad (3)$$

Зависимость горизонтального реактивного давления от формы линейной эпюры коэффициента постели проиллюстрирована на рис. 2.

Рассматривая условия равновесия пирамидальной сваи длиной l с размером поперечного сечения в голове d и углом сбега граней α , находящейся под действием внешней, активной нагрузки, расположенной на расстоянии H от поверхности грунта, и реактивных сил грунтовой среды, можем составить два уравнения ($\sum X = 0$; $\sum M = 0$), отображающие эти условия в виде равенства нулю сумм горизонтальных проекций всех сил на ось x и их моментов относительно точки O .

Запишем уравнения равновесия в раскрытом виде

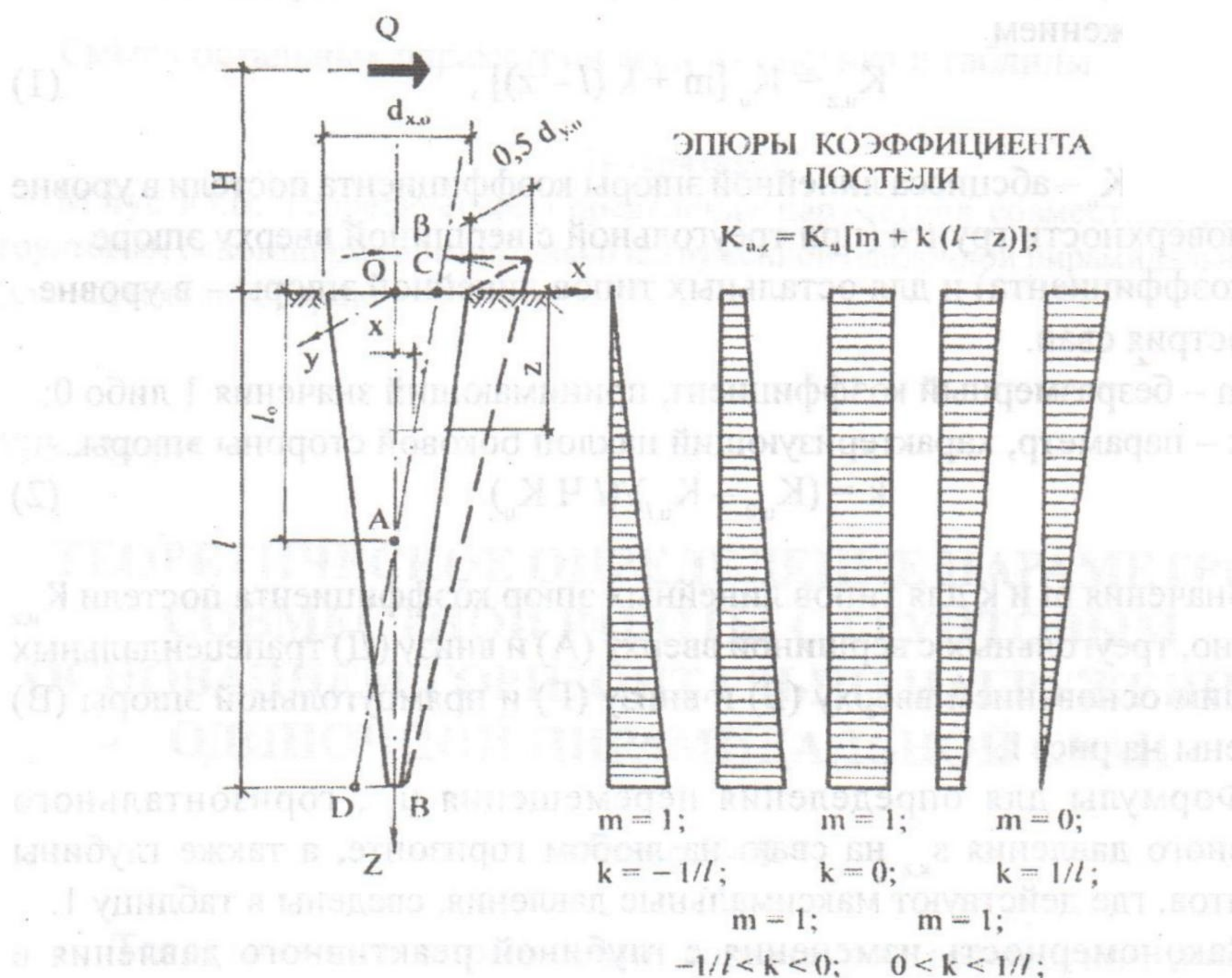


Рис. 1. Расчетная схема горизонтально нагруженной пирамидальной сваи.

$$\Sigma X = 0; \quad Q - \int_0^l \sigma_{x,z} d_{y,z} \cos \alpha dz = 0; \quad (4)$$

$$\Sigma M = 0; \quad QH - \int_0^l \sigma_{x,z} d_{y,z} \cdot z \cos \alpha dz = 0; \quad (5)$$

где $d_{y,z}$ – ширина рабочей грани сваи на глубине z от поверхности грунта, определяемая из выражения

$$d_{y,z} = d_{y,0} - 2 z \text{ Ч } \text{tg } \alpha; \quad (6)$$

Таблица 1

Формулы расчета параметров совместной работы горизонтально нагруженной пирамидальной сваи с грунтовым основанием, характеризуемым линейной эпюрой коэффициента постели K

u,z

Параметр	Формула
1	2
1. Горизонтальное перемещение сваи	
– на глубине z	$u_z = (l_0 - z) \text{ tg } \beta;$ (7)
– в уровне головы	$u_0 = l_0 \text{ tg } \beta;$ (8)
– в уровне острия	$u_l = (l_0 - l) \text{ tg } \beta;$ (9)
2. Горизонтальное реактивное давление	
– на глубине z	$\sigma_{x,z} = K_u [m + k(l - z)] (l_0 - z) \text{ tg } \beta;$ (10)
– в уровне головы	при эпюре “А”: $\sigma_{x,0} = 0;$
	при эпюрах “Б”... “Д”: $\sigma_{x,0} = K_u (m + kl) l_0 \text{ tg } \beta;$ (11)
– в уровне острия	при эпюрах “А”... “Г”: $\sigma_{x,l} = K_u \cdot m (l_0 - l) \text{ tg } \beta;$ (12)
	при эпюре “Д”: $\sigma_{x,l} = 0;$

1	2
<p>3. Глубина горизонта z с максимальным давлением $\sigma_{x,z}$ —отрицательным</p>	<p>при эюре "А": $z = 0,5 l_0$; при эюрах "Б" ... "Г": $z = 0$; при эюре "Г": $z = 0$; (при $0 > k \geq -1/(l + l_0)$) и $z = 0,5 (l + l_0 + 1/k)$; (при $-1/l < k < -1/(l + l_0)$)</p>
<p>— положительным</p>	<p>при эюрах "А" ... "Б": $z = l$; при эюре "Г": $z = l$; (при $0 < k \leq -1/(l - l_0)$) и $z = 0,5 (l + l_0 + 1/k)$; (при $k > 1/(l - l_0)$)</p>
<p>4. Тангенс угла поворота фундамента</p>	<p>при эюре "Д": $z = 0,5 (l + l_0 + 1/l)$. при эюре "А": $\operatorname{tg} \beta = \frac{6Q}{K_u l^2 (l_0 \Phi_2 - l \Phi_1) \cos \alpha}; \quad (13)$ при эюрах "Б" ... "Г": $\operatorname{tg} \beta = \frac{6Q}{K_u l [l_0 (6\Phi_1 + k/l \Phi_2) - l (\Phi_3 - k/l \Phi_1)] \cos \alpha}; \quad (14)$ </p>
<p>5. Глубина местоположения т.н.п.</p>	<p>при эюре "А": $l_0 = l \frac{l \Phi_5 + H \Phi_1}{l \Phi_1 + H \Phi_2}; \quad (15)$ при эюрах "Б" ... "Г": $l_0 = l \frac{l (\Phi_4 + k/l \Phi_5) + H (\Phi_3 + k/l \Phi_1)}{l (\Phi_3 + k/l \Phi_1) + H (6\Phi_1 + k/l \Phi_2)}; \quad (16)$ <p>где</p> $\Phi_1 = d_{y,0} - l \operatorname{tg} \alpha; \quad (17)$ $\Phi_2 = 3d_{y,0} - 2l \operatorname{tg} \alpha; \quad (18)$ $\Phi_3 = 3d_{y,0} - 4l \operatorname{tg} \alpha; \quad (19)$ $\Phi_4 = 2d_{y,0} - 3l \operatorname{tg} \alpha; \quad (20)$ $\Phi_5 = 0,5 d_{y,0} - 0,6l \operatorname{tg} \alpha; \quad (21)$ </p>

Совместное решение уравнений равновесия (после подстановки в них вместо $d_{y,z}$ и $s_{x,z}$ соответствующих значений из формул (6) и (10), и определения входящих в эти уравнения интегралов) дает формулы для нахождения тангенса угла поворота ν и глубины местоположения т.н.п. l_0 (см. таблицу 1).

Отметим, что при прочих равных условиях при последовательном переходе от треугольной с вершиной вверху эпюры к трапецеидальной с большим основанием внизу, далее к прямоугольной и от нее к трапецеидальной с большим основанием вверху, и, наконец, к треугольной с вершиной внизу эпюры коэффициента постели $K_{u,z}$ глубина местоположения т.н.п. уменьшается.

Теоретическим исследованием совместной работы горизонтально нагруженной пирамидальной сваи с грунтом основания, выполненным на основе использования расчетной схемы абсолютно жесткого стержня, находящегося в линейно деформируемой среде, характеризуемой коэффициентом постели, изменяющимся с глубиной, установлено, что:

1. Высота приложения горизонтальной нагрузки наряду с параметрами геометрии сваи и эпюры распределения по глубине коэффициента постели обуславливает местоположение т.н.п. Глубина местоположения точки нулевых перемещений не зависит от свойств грунта.

2. От местоположения т.н.п. зависят как единичное горизонтальное реактивное давление и характер его распределения по глубине, так и угол наклона сваи и, следовательно, перемещения сваи на различных горизонтах.

3. Сопротивление пирамидальной сваи действию горизонтальной нагрузки наряду с перечисленными параметрами геометрии сваи и эпюры распределения по глубине коэффициента постели зависит от глубины местоположения т.н.п., от величины коэффициента постели и характера его распределения по глубине.

Таким образом, факторами совместной работы горизонтально нагруженной пирамидальной сваи с основанием, от которых зависят все стороны совместной работы, являются горизонтальная нагрузка, высота ее приложения и геометрические параметры сваи (внешние факторы), и взаимосвязанные между собой глубина местоположения т.н.п., параметры эпюры коэффициента постели и реактивное давление грунта на рабочие грани сваи на различных горизонтах (внутренние факторы).

Реактивное давление является функцией от величины и характера распределения коэффициента постели и горизонтального перемещения сваи на данном горизонте. Последнее определяется местоположением т.н.п. и углом поворота сваи.

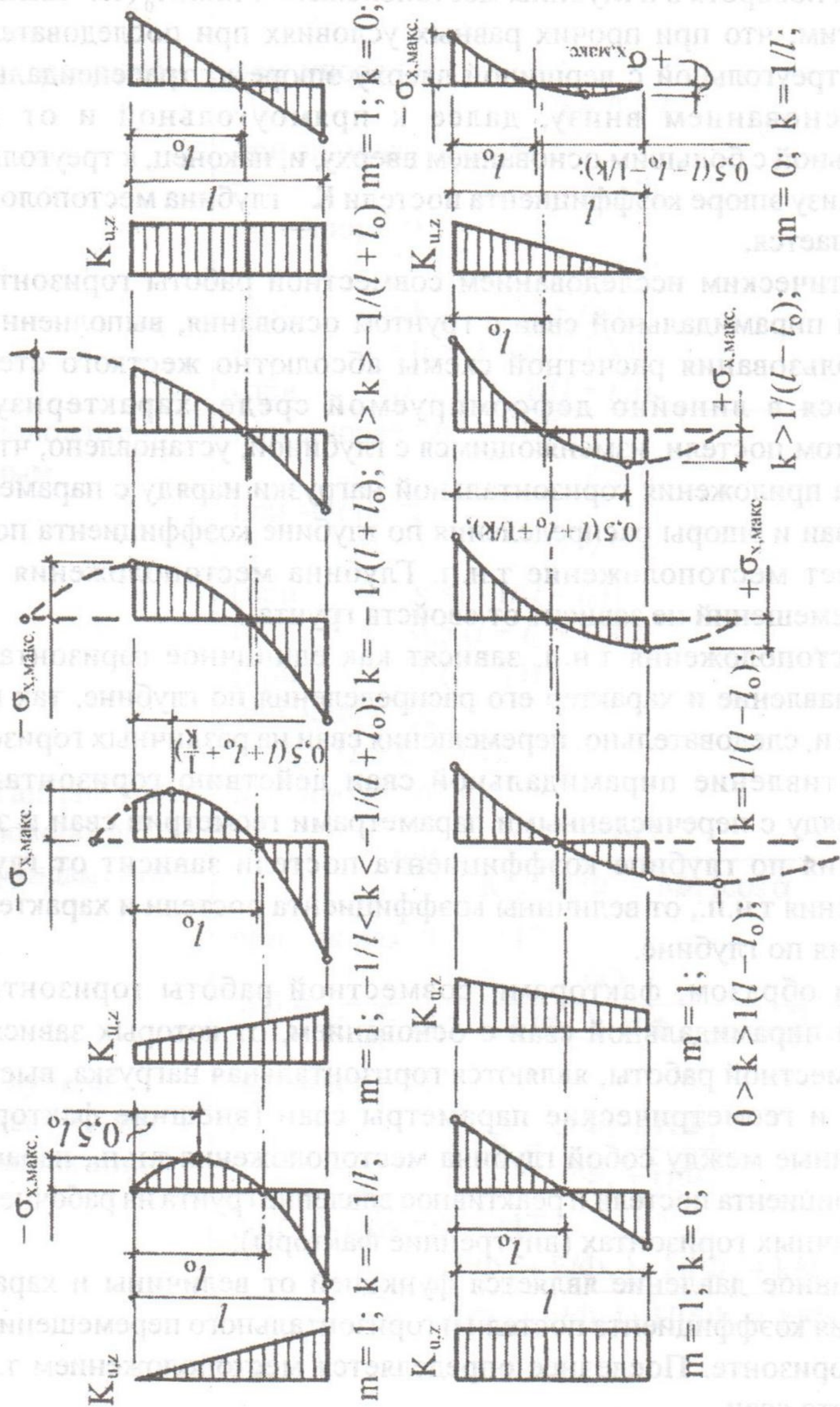


Рис. 2. Зависимость эпюры горизонтального реактивного давления $\sigma_{x,z}$ от характера распределения по глубине коэффициента $K_{u,z}$.