

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ РОСТВЕРКОВ
ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
НА ЛЮБОЙ СТАДИИ ИХ РАБОТЫ.**

Мазуренко Л.В. (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*)

В статье рассмотрены принципы определения деформаций упругопластической системы на любой стадии ее работы.

Стадия упругой работы сооружения имеет четкое решение [1] и в настоящей работе не рассматривается. При решении упругопластической задачи рассматривается тело Прандтля.

Для плоских рам функция, связывающая усилия и деформации, имеет вид:

$$f = (K; \varepsilon) = \varphi(M; Q; N_1) \quad (1)$$

Это следует из того, что стержень в плоской раме имеет форму плоской кривой, вполне характеризующейся своей кривизной.

Для пространственной рамы эта же функция усложняется:

$$f = (K; \tau; \varepsilon) = \varphi(M; Q; N_1; N_2; M_{кр}) \quad (2)$$

Это следует из того, что стержень в пространственной раме имеет форму пространственной кривой. В (1) и (2) обозначено: K - кривизна, τ - кручение, ε – относительное удлинение линии нейтральных осей, M, Q и N_1 – изгибающий момент, поперечная и нормальная сила, действующие в главной плоскости инерции стержня, N_2 – сила, действующая перпендикулярно главной плоскости; $M_{кр}$ – крутящий момент.

При известных внешних нагрузках и функциях (1) или (2) уравнения совместности деформаций позволяют найти распределение усилий, а по ним, используя граничные условия для деформаций стержней, перемещения и углы поворота в любом сечении рамы. Ниже приводится полная схема такого расчета применительно к плоской одноэтажной раме портового ростверка [2].

Прежде всего, необходимо получить решение задачи о работе одиночной сваи в упругопластической стадии. Результаты исследований одиночных свай [3] приводят к заключению о том, что для свай высоких свайных ростверков достижение второго пластического шарнира в свае (в грунте) происходит при сохранении расчетной модели основа-

ния, принятой в упругой стадии работы. Поэтому модель сохраняется на всех стадиях работы сваи. На сваю (в плоской или в пространственной раме) действуют силы: Q – поперечная сила, N - нормальная сила, M – изгибающий момент. Пренебрежение крутящим моментом является классическим допущением портовой гидротехники. Однако, пренебречь тут можно, вероятно, и поперечной силой. Следует задать закон распределения нормальной силы вдоль сваи в грунте, чтобы облечь решение в математическую форму. В качестве первого приближения возможна схема, приведенная на рис. 1, где N_0 – сила, приходящаяся на конец сваи.

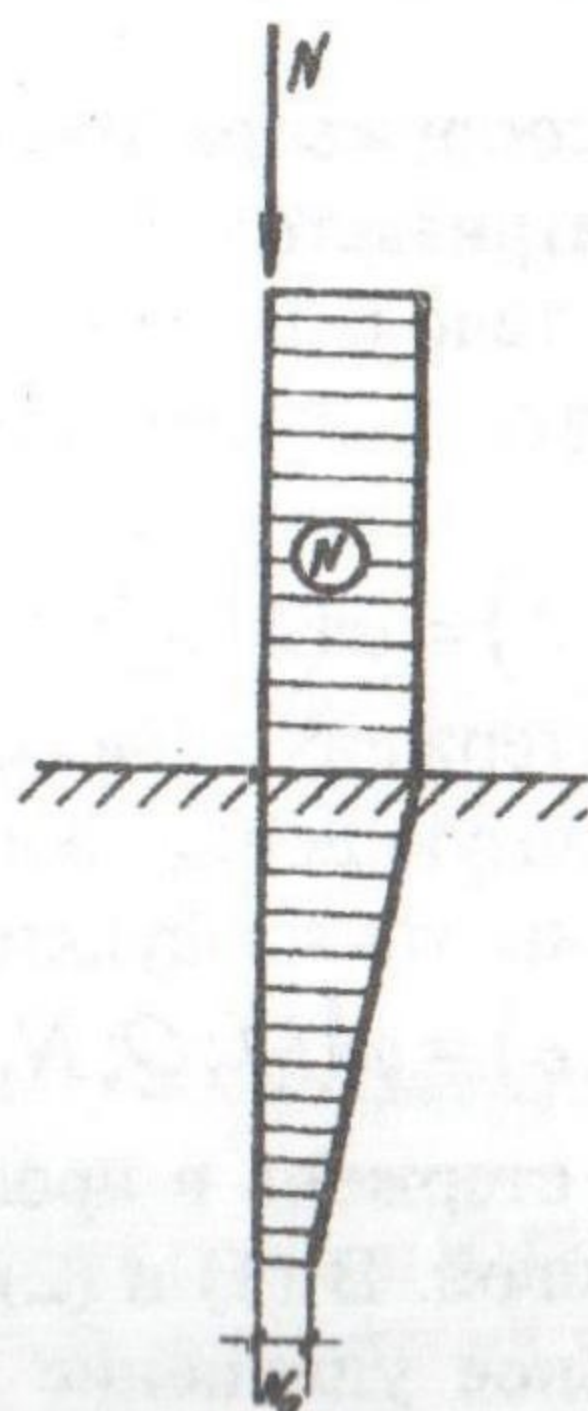


Рис. 1 Эпюра распределения продольной силы вдоль оси сваи.

Дифференциальное уравнение изгиба записывается с учетом деформированной схемы. Решение должно быть проведено на участках с постоянным и переменным коэффициентом постели и получено в виде разложения не элементарных функций в ряды. Таким образом, будем считать, что решение упругопластического изгиба сваи уже получено. Перейдем к определению деформаций упругопластической системы на любой стадии ее работы. Наименьшее число неизвестных дает смешанный метод, а так как они определяются из системы трансцендентных уравнений (ввиду нелинейности), то это – и наиболее выгодный метод.

Выбор основной системы показан на рис. 2.

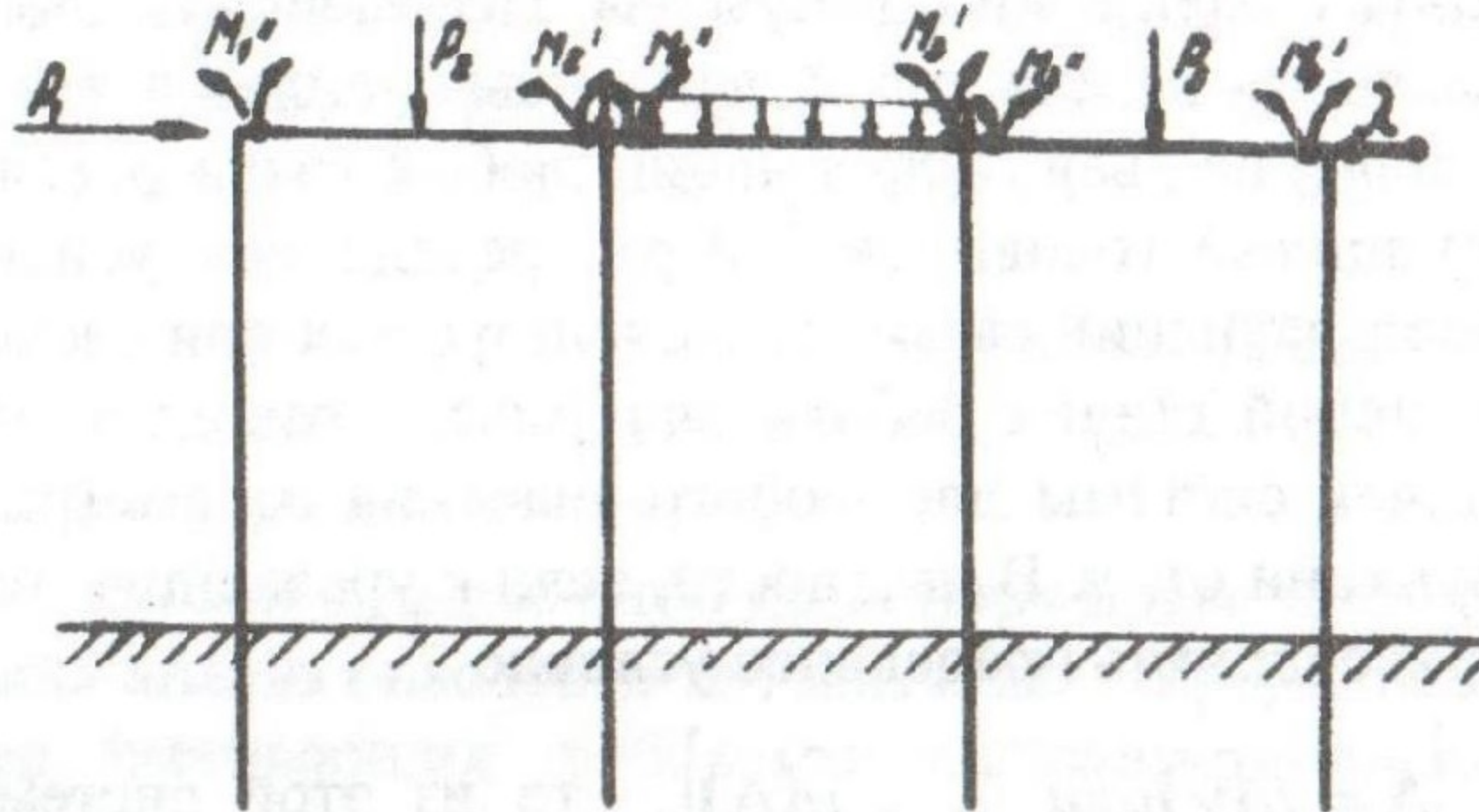


Рис.2. Основная система

Через неизвестные моменты смещение λ и внешние нагрузки выражаются условиями в любом поперечном сечении M , N и Q .

Поскольку упругопластическое решение сваи предполагается известным, то угол поворота головы ее у первой опоры выразится:

$$y'_{1c} = \psi_1(M_{1r}; v; \lambda)$$

угол поворота ригеля:

$$y'_{1p} = \psi_2(M_{1r}; v)$$

Условия совместности деформаций состоят в равенстве нулю угла взаимного поворота сваи и ригелей:

$$y'_{1c} - y'_{1p} = 0$$

.....

.....

$$y'_{nc} - y'_{np} = 0$$

(3)

Условие равенства нулю реакции в λ - связи означает, что сумма всех горизонтальных сил, действующих на раму и поперечных усилий в сваях равна нулю.

$$\sum H + \sum P_i = 0, \text{ т.е. } \sum H + \sum \Phi(M_{1r}, \dots, M_{nr}; v; \lambda) = 0 \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) образуют систему, вообще говоря, трансцендентных уравнений относительно

$$M_{1r}, \dots, M_{nr} \text{ и } \lambda$$

Положительной чертой метода является то, что после решения уравнений совместности (3) и (4) распределение усилий и одно из наиболее характерных смещений определены. Перемещения любой точки на свае определяются подстановкой найденных усилий в ней в упруго-пластическое решение сваи. Деформации любой точки ригеля определяются деформациями головы сваи и распределением усилий в этом ригеле. Общность функций связи (1), используемых при расчете сваи и в ригеле, для любой стадии работы материала позволяет определить деформации точек системы для любого значения параметра нагружения v , т.е. в функции от v . В частности, если к уравнениям совместности (3) и (4) присоединить предельное условие

$$\frac{dv}{d\Delta} = 0 \quad \left[\Delta = \mu(v) \text{ или } v = \bar{\mu}(\Delta) \right], \quad \text{то из этой системы можно}$$

определить и несущую способность ростверка, и распределение усилий в предельном состоянии (если $\frac{dv}{d\Delta} \neq 0$, то $v_{\max} = \bar{\mu}(\Delta_0)$, где Δ_0 - точка отсутствия производной $\frac{dv}{d\Delta}$).

Основную систему подобного типа можно применить и при расчете пространственных рамных каркасов. Практическое разрешение подобной задачи потребует решения системы из нескольких десятков трансцендентных уравнений со стольким же количеством неизвестных. Так, для пространственного набора из 3-х свай в поперечнике и 4-х свай в продольном ряду (12-ти свайная секция) число неизвестных достигает 41. Если в поперечном ряду n_1 свай, а в продольном n_2 , то число неизвестных в этом смешенном методе равно

$$(2n_1 - 1)n_2 + (2n_2 - 1)n_1.$$

Задача является трудной, но разрешимой.

Точный учет работы плиты ростверка с подкрепляющими ее ребрами как анизотропной пластинки на сваях за пределами упругости пока, видимо, невозможен. Правда, некоторые надежды могут быть основаны на «методе упругих решений». Идея его состоит в том, что первоначально решается упругая задача с геометрически определенными жесткостями элементов, затем по найденному распределению усилий корректируются жесткости (учитываются лишь упругие ядра сечений) и вновь производится расчет в предположении упругой работы материала, но с измененными жесткостями; опять находится распределение усилий и жесткостей и т.д.

К сожалению, доказательство сходимости такого процесса отсутствует. Результат считается полученным, если разница между усилиями при двух соседних приближениях не превышает нескольких процентов от их абсолютных значений. На простых плоских рамах Крылов С.М. [4] получал конечный результат в указанном выше смысле на 3-м – 4-м шаге.

В этом плане упругий расчет пространственного гибкого ростверка с анизотропной плитой [1] представляется «рабочим инструментом» для упругопластического расчета.

Большой интерес для расчетов по деформациям представляет «конструктивный» анализ опасности тех или иных деформаций и конструктивных мер, смягчающих требования эксплуатационников. Рассмотрим, какого рода эксплуатационные неприятности могут возникать в эстакадах.

1. Опасность деформации подкрановых и железнодорожных рельсов.

Для рельсов следует определить напряжения при деформации $\Delta_{\text{пред}}$. Анализ опасности подобного состояния легко выполнить, если по нормируемым напряжениям в рельсе определить расчетную длину, реализующую предельный прогиб.

Предельное (по перемещениям) нагружение вызывает взаимные повороты секций с центром в зубе. Величины этих углов поворота должны быть определены. Если относительные удлинения у центра зуба равны нулю и опасность тут представляет сам угол перелома, то для наиболее удаленного рельса опасность представляет именно большие относительные удлинения. В первом случае расчетом надо определить ту длину, на которой при нормируемых в рельсе напряжениях распределится заданный угол поворота; участок между двумя креплениями рельса к ростверку должен быть больше расчетной длины. Во втором случае, помимо предыдущего, необходимо для восприятия относительных удлинений устройство компенсаторов.

Средний угол поворота ростверка у пути не должен быть больше величины, приводящей к превышению допусков в отметках между рельсами Δh_H .

$$\varphi_H \leq \frac{\Delta h_H}{b_{\text{пути}}}$$

Допуски в деформациях причалов должны зависеть и от типа кон-

струкции. Так, у оторочки допуски должны быть жестче, чем у эстакады, ибо передняя нога крана находится на оторочке, а задняя – на старой конструкции причала.

2. Опасность деформаций инженерных конструкций причала.

При прикреплении труб к потерне причала необходимо учитывать деформации причала в той же мере, как и деформации рельсов. Однако, лучше в местах стыковки секций трубы к потернам не прикреплять, оставляя соответствующий зазор между потерной и трубами, больший, чем предельная деформация секции.

3. Опасность нарушения конструкций, сопрягающих эстакадные сооружения с берегом.

Эта опасность, вероятно, невелика и может быть легко ликвидирована хорошо разработанной конструкцией сопряжения. Существенное влияние на расчет по деформациям может оказать ползучесть. Но роль ее не нужно переоценивать, так как ряд нагрузок на ростверк действует длительно, а ряд – кратковременно, но периодически.

Навал, швартовка и железнодорожная нагрузка цикличны и ползучести не вызывают. Крановая и равномерно распределенная нагрузки длительно и вызывают ползучесть. На повестку дня встает сложное нагружение. Только учет сложного нагружения в комплексе с ползучестью позволит до конца решить вопрос расчета по деформациям.

Вывод

Дана идея расчета деформаций ростверков и приведена последовательность решения этой задачи.

Литература

1. Мазуренко Л.В. Расчет гибких пространственных ростверков. Транспорт. Москва. 1973.
2. Черноморниипроект. Отчет по теме НИР «Совершенствование конструкций портовых гидротехнических сооружений и методов их расчета». Одесса, 1966.
3. Черноморниипроект. Отчет по теме НИР «Разработка новых методов расчета портовых сооружений». Одесса, 1964.
4. Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически-неопределимых железобетонных конструкциях. Издательство литературы по строительству. Москва. 1964.