УДК. 624.073.74

ВЛИЯНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РОСТВЕРКОВ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ИХ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

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

В статье рассматривается задача расчета несущей способности ростверка с учетом сложного напряженного состояния конструкции. Рассмотрен также вопрос учета явления потери несущей способности отдельных свай в расчетах сооружения по предельным состояниям.

Исходным положением тут является то обстоятельство, что в действительности все материалы ограничены по деформациям, т.е. диаграмма σ-ε содержит точку прекращения кривой. Эффекты, связанные с ее наличием, отображают влияние разрушения на конструкцию. Диаграмма тела Прандтля в этом случае имеет вид, показанный на рис. 1

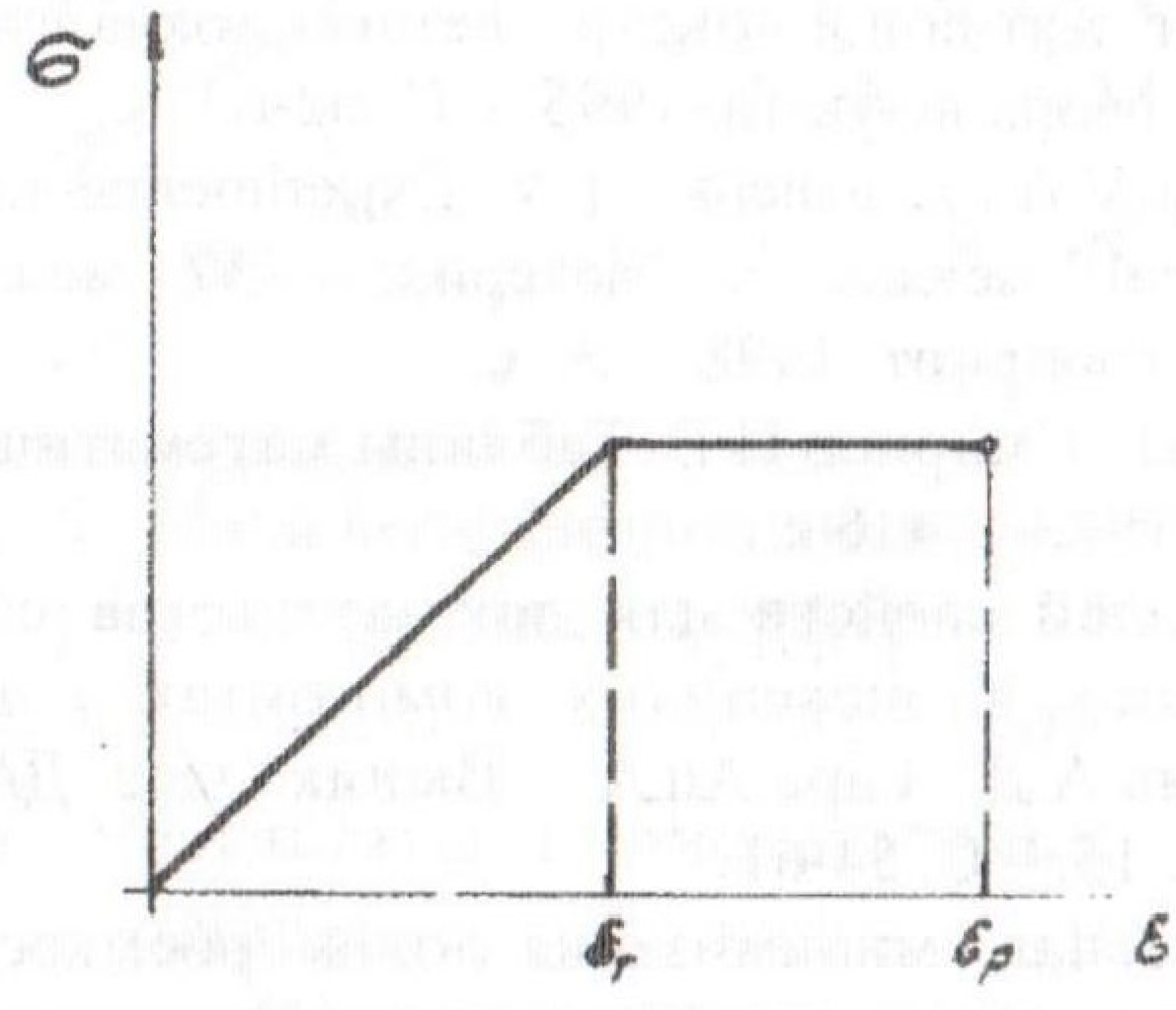

Рис.1. Диаграмма σ-ε при ограничении деформаций.

Условие разрушения в сложном напряженном состоянии $\varepsilon_i = \varepsilon_p$; условие разрушения в одномерном напряженном состоянии $\varepsilon = \varepsilon_p$.

Ввиду отсутствия функций связи усилий и деформаций в сложном напряженном состоянии не удалось пока определить влияния эффектов разрушения [1]. Но если, как это делается в настоящее время при расчетах рамных систем [2], [3], пренебречь влиянием продольных (выпадает анализ устойчивости) и поперечных сил, то такой анализ может быть проведен до конца [4].

Изложим идею и схему решения.

Выведено уравнение М-К для стадии разрушения (для упругой и упруго-пластической стадии оно известно [5]). Графически это- нисходящая ветвь графика σ-ε. Приведем эффективный пример, показывающий большое влияние разрушения на несущую способность, но этот пример оказался, как видно из нижеследующего, единственным. Доказано, что зона разрушения не может образовываться, возможно лишь наличие сечений разрушения. Несущая способность системы определяется с использованием уравнений совместности деформаций (условия разрушения тут не фигурируют, ибо зона разрушения отсутствует) из предельного условия $\frac{dv}{d\Delta}=0$.

При этом, если кривая v-Δ не имеет в точке (v_{max}; Δ_{max}) производной, то v_{max} определяется той точкой Δ_{max}, в которой производной не существует.

Здесь: v – множитель пропорциональности для данной нагрузки (рассматривается случай простого нагружения, когда все внешние силы изменяются пропорционально одному параметру),

Δ- характерное перемещение (т.е. то перемещение, которое быстро возрастает при разрушении системы). Заметим, что Δ для любого значения v находится из уравнений совместности деформаций и не зависит от условий разрушения. Отсюда немедленно вытекает и независимость $\frac{dv}{d\Delta}$ от этих условий.

Уравнения совместности и предельное условие образуют систему уравнений, из которой определяются и «лишние» неизвестные и несущая способность, независимость которой от условий разрушения вытекает из независимости от них самой системы уравнений. Доказанное утверждение носит характер важной теоремы.

Большой интерес представляет собой анализ влияния процесса разрушения при учете нормальной силы и изгибающих моментов по деформированной схеме. Это позволит получить утверждения, отражающие зависимость или независимость несущей способности при потере устойчивости от разрушения волокон элементов. В этом случае для плоской рамы.

$$f(y'')=\psi(M;N;y) \qquad (1)$$

Причем предполагается, что выражение (1)включает в себя часть поверхности, характеризующую происходящие процессы разрушения.

Если считать не по деформированной схеме, то так как в ростверках нормальная сила в каждом стержне при данной нагрузке постоянна, то для доказательства независимости несущей способности от разрушения будет лишь достаточно показать (при фиксированной величине N), что нисходящая ветвь кривой М-К начинается с началом процессов разрушения волокон. Дальше все рассуждения будут совершенно аналогичны случаю воздействия только изгибающего момента. При расчетах по деформированной схеме вышеуказанное необходимо показать при фиксированных N и y.

Учет поперечной силы неизбежно связан с очень большими аналитическими трудностями. Представляется возможным решить вопрос следующим образом:

1. Проводится анализ влияния разрушения элементов на несущую способность по деформированной схеме с учетом продольной силы и изгибающего момента.

2. Экспериментально устанавливается несущая способность (на металлических и железобетонных рамах) и, если она выше или равна теоретической по п.1, эффектом воздействия поперечных сил можно пренебречь; если же она ниже теоретической, то сложнейший анализ этого процесса необходим.

Остановимся на расчете несущей способности с учетом сложного напряженного состояния конструкции.

Наличие функций связи усилий и деформаций дает возможность, используя уравнения совместности деформаций и предельное условие типа $\frac{dv}{d\Delta} = 0$, найти несущую способность. Однако, при этом не находит отражения тот факт, что в каких-то частях конструкции при потере устойчивости может происходить разгрузка. Последняя имеет место при различных видах деформации от внешней нагрузки и при потере устойчивости. «Если внешние нагрузки вызывают деформации, отвечающие высшей форме потери устойчивости или комбинации нескольких высших форм, то потеря устойчивости происходит ранее достижения состояния предельного равновесия в форме деформирования, отвечающей низшей критической нагрузки» и далее [6].

Несмотря на то, что подобные качественные выводы лишены аналитической интерпретации, опасность подобного явления от этого не уменьшается.

Например, симметричная свободная рама при симметричной нагрузке имеет кососимметричную форму потери устойчивости. «Несущая способность конструкции достижима только в тех случаях, когда форма деформирования конструкции совпадает или близка к форме потери устойчивости конструкции при низшей критической нагрузке» [6].

Отмеченное выше наиболее реальное сочетание нагрузок (вертикальной и горизонтальной) асимметрично и вызывает кососимметричную деформацию, как при малых нагрузках, так и при потере устойчивости. Учитывая большую жесткость ригеля (в5-10 раз большую чем у сваи) и относительно малые пролеты его (5-8м), можно уверенно считать, что при деформировании ригель не теряет устойчивости, форма же потери устойчивости сваями предопределена наличием горизонтальной нагрузки. Это означает, что при расчете портовых ростверков мы имеем дело с типичной задачей потери устойчивости второго рода, когда форма деформирования стержней не изменяется и качественно новые формы равновесия (бифуркация) невозможны.

Отсюда вытекает, что несущая способность конструкции достигается при низших формах потери устойчивости и может определяться расчетом на «устойчивую прочность» по деформированной схеме.

Однако, вопрос смены форм деформирования при нагружении имеет большой практический и теоретический смысл вообще. Нам представляется, что в этом плане можно предложить следующее:

1. Известно, что задачи устойчивости это – по сути задачи на отыскивание собственных значений решений некоторых дифференциальных уравнений.

2. Уравнения связи усилий и деформаций это – дифференциальные уравнения и могут иметь целый ряд собственных значений.

3. Форма потери устойчивости полностью определяется собственным значение.

4. Формулировка предельного условия в виде $\dfrac{d\nu}{d\Delta}=0$ сохраняется.

5. Все стержни разделяются на группы. В пределах каждой из них нормальные силы отличаются ориентировочно до 2-х раз (это связано с тем, что в практических случаях рассматриваются формы не выше 4-й, а отношение квадратов $K_4^2; K_3^2; K_2^2; K_1^2$ равно 16:9:4:1:0).Каждой группе приписывается одно характеристическое число.

6. Комбинация характеристических чисел, приводящая к наименьшей несущей способности v, является расчетной, а форма деформирования системы в момент исчерпания несущей способности определяется этими характеристическими числами.

7. Характеристических чисел, отличных от нуля, должно быть столько, чтобы число ликвидируемых связей (при потере устойчивости) было не более n+1(при потере устойчивости одного стержня ликвидируется 3 связи).

Что касается ползучести то, расчеты несущей способности не должны проводиться с ее учетом, ибо первое предельное состояние может существовать лишь кратковременно (наибольшая перегрузка).

Представляет интерес рассмотрение вопроса учета явления «потери несущей способности» свай в расчетах по предельным состояниям.

При рациональном проектирование конструкция должна иметь минимальный вес, который во многом зависит от длины опор. От длины опор также зависит и коэффициент упругой податливости, но с некоторой длины он не меняется.

Пусть задача упруго-пластического расчета решена в предположении упругой податливости опор, все усилия в системе являются функциями параметра v, в том числе и продольные силы в сваях:

$$N_1 = \psi_{11}(\nu); N_2 = \psi_{12}(\nu); \ldots\ldots\ldots\ldots N_n = \psi_{1n}(\nu)$$

При $N_1 = N_2 = \ldots.. = N_n = N_{пред}$ получаем $\nu_{1пред}; \nu_{2пред} \ldots \nu_{n.пред}$

Наименьшее из ряда этих v дает величину v и сваю, которая первой теряет несущую способность.

Если предельное условие дает $v > v_{к.\ пред.}$, то потеря несущей способности к-той сваи происходит ранее разрушения конструкции. Дальнейший расчет должен быть продолжен при $N_к = N_{пред}$ в к-той свае. Степень статической неопределимости рамы понизилась на единицу. Опять определяется из предельного условия параметр v_2 в предположении упругой податливости всех свай и сравнивается с параметром $v_{2\ пред}$, минимальным параметром, которой выбирается из условий:

$$N_1 = \psi_{21}(\nu); N_2 = \psi_{22}(\nu); \ldots\ldots\ldots\ldots N_n = \psi_{2n}(\nu)$$

Если $v_2 > v_{пред}$, то потеря несущей способности сооружения происходит после потери несущей способности l-той сваи и т.д.

Предполагаемый прием использует при определении полной несущей способности идею «статического» метода последовательного образования пластических шарниров.

Трудоемкость подобного метода очень велика.

Поэтому интересно аппроксимировать диаграмму осадок сваи от нормальной силы одной достаточно простой функцией. Это вообще сняло бы все «последовательные» шаги и сделало бы расчет хотя и более сложным, но однократным.

Подобный путь нам представляется более предпочтительным.

Выводы.

Показана возможность решения задачи учета разрушения отдельных элементов ростверка на несущую способность всего сооружения. Приведена схема подобного расчета с учетом сложного напряжения состояния конструкции и дана последовательность расчета с учетом потери несущей способности отдельных свай.

Литература

1. Черноморниипроект. Отчет по теме НИР «Совершенствование конструкций портовых гидротехнических сооружений и методов их расчета». Одесса, 1966.

2. Хадж Ф.г. Расчет конструкций с учетом пластических деформаций. Машгиз. Москва.1963.

3. Нил Б.Г. Расчет конструкций с учетом пластических свойств материалов. Госстройиздат. Москва.1961.

4. Мазуренко Л.В. Влияние процессов разрушения на несущую способность и деформации статически-неопределимых систем. Вестник ОГАСА. Выпуск № 2004.

5. Ржаницын А.Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материалов. Госиздат. Москва.1954.

6. Расчте конструкций, работающих в упруго-пластической стадии. Труды ЦНИИСК им. В.В. Кучеренко. Выпуск 7. Госиздат. Москва.1961.