

К РАСЧЕТУ РОСТВЕРКОВ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ

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

В работе рассматривается возможность применения идеального упруго-пластического тела Прандтля к расчету по предельным состояниям портовых причальных сооружений на сваях и оболочках.

В соответствии с требованиями нормативных документов расчет несущих конструкций морских гидротехнических сооружений и их оснований надлежит производить по предельным состояниям. Наряду с этим в нормах оговорено, что конструкции, для которых еще не разработаны способы определения усилий с учетом свойств пластичности и ползучести материалов, разрешается рассчитывать в предположении упругой работы [1].

Таким образом, в настоящее время, ввиду не разработанности ряда вопросов строительной механики предельных состояний и не использования уже полученных результатов, сложилось весьма своеобразная ситуация: распределение усилий между элементами конструкций производится в упругой стадии, а подбор их сечений выполняется по предельным состояниям. Подобный альянс методов приводит к тому, что нормируемые запасы (коэффициенты перегрузки, однородности, условий работы и пр.) относятся к одному частному элементу, а не ко всей конструкции, что предполагалось в начале расчета. Фактический же запас конструкции существенно выше.

Теория сооружений, основанная на линейной упругости, обеспечила строительство и эксплуатацию множества, как рядовых, так и выдающихся инженерных конструкций. Однако, она не лишена ряда недостатков, которые заставляют исследователей обратиться к поискам новой теории.

Главные из этих недостатков сводятся к следующему:

1. Неспособность расчета в упругой стадии использовать свойства материалов выдерживать напряжения, превышающие предел пропорциональности; возникающее при этом перераспределение напряжений может значительно увеличивать несущую способность.
2. Иллюзорность полученных результатов, ибо, несмотря на высокую степень точности, с которой справедлив закон Гука в определенной области нагружения, реальные конструкции отличаются от расчетных схем (неточность сборки, неравномерная осадка опор, жесткость узлов, остаточные напряжения от сварки). Действительное распределение напряжений отличается от упругого распределения, ибо в узлах, в местах сопряжения и т.д. при концентрации напряжений материал, как правило, работает в пластической стадии.
3. Излишняя затрата материала, ибо все принимаемые допущения направляются в запас прочности, что приводит к утяжелению конструкции.
4. Сложность расчета (исключая расчеты простейших конструкций) приводит к принятию методики с такими допущениями, установить последствия которых зачастую труднее, чем решить саму задачу.

С учетом выше перечисленных недостатков можно отметить, что упругий расчет конструкций не отражает действительной работы и является неэкономичным.

Сейчас научные работы по расчетам за пределами упругости почти целиком посвящены идеальному упруго-пластическому телу, подчиняющемуся диаграмме Прандтля [в осях σ_i , ϵ_i (обобщенное напряжение и обобщенная деформация)].

Статика предельных состояний основана на изучении тела Прандтля, которое представляет собой второе приближение к действительным диаграммам материалов (за первое принимается идеальная упругость). Многочисленные эксперименты показывают, что новое приближение значительно ближе соответствует работе сооружений, чем расчеты, основанные на законе Гука. Поэтому можно сказать, что расчеты по предельным состояниям позволяют правильно оценивать работу конструкции за пределом упругости.

Если бы удалось построить равнопрочную в упругой стадии конструкцию, то выигрыша при расчете по предельным состояниям не было бы получено, так как в любой стадии работы конструкции все элементы ее испытывали бы одинаковые напряжения. Между тем

создать подобного рода конструкцию невозможно как по техническим соображениям, так и потому, что нельзя обеспечить равнопрочность при разных комбинациях нагрузки. Это приводит к тому, что на практике всегда возводятся сооружения, неравнопрочные в упругой стадии, благодаря чему имеет место значительное перераспределение усилий за пределами упругости.

Поэтому расчеты предельных состояний, полностью учитывающие эти явления, позволяют запроектировать и более экономичную конструкцию, чем при пользовании прежними методами.

Фундамент современной нелинейной строительной механики заложен работами таких ученых, как Э. Мелан, А.А. Ильюшин, В. Прагер, В.В. Соколовский, Б.Г. Нил, М.Р., Хорн, Ф.Г. Ходж, А.А. Гвоздев, Н.И. Безухов, А.Р. Ржаницын и других. Их работы вызвали целый ряд исследований. Отличием их, как и всех работ нового направления, является разнообразие тематики и методов поиска. Несмотря на обилие материалов, положение сейчас таково, что в настоящее время учет упруго-пластической стадии работы конструкций ограничивается немногими простейшими случаями.

В основном это однопролетная балка, шарнирно закрепленный сжатый или сжато-изогнутый стержень, отдельные плиты. Во всех остальных случаях учет упруго-пластической стадии работы либо не производится вообще, либо ограничен отдельными классами конструкций.

В теории идеального упруго-пластического тела постулируются следующие положения:

1. Неограниченность возрастания деформации при сохранении величины соответствующего усилия.
2. Независимость деформативно-силовой диаграммы от скорости нагружения.
3. Нагружение и разгрузка предполагаются простыми, т.е. все внешние силы изменяются пропорционально одному параметру.
4. Неизменяемость упругих постоянных, характеризующих свойства тела в его исходном состоянии при повторно-переменном нагружении и во времени, т.е. параллельность линий разгрузки и упругого нагружения и неучет явлений ползучести.
5. Пренебрежение площадью петли гистерезиса при разгрузке и последующем повторном нагружении.
6. Инвариантность кривой нагружения от наличия или отсутствия предварительных загрузений.

Перечисленные гипотезы частью своей основаны на экспериментальном материале, а частью введены для получения решения в первом приближении. Так, справедливость первой гипотезы доказана [2], вторая и четвертая гипотезы приняты для получения первого приближения к задаче.

Остальные гипотезы основаны на многочисленных экспериментах.

В статически неопределимых системах исчерпание несущей способности элемента и конструкции не тождественно, ввиду того, что оставшиеся элементы образуют неизменяемую систему, способную воспринять дополнительную нагрузку. Благодаря пластическим деформациям в конструкции перераспределяются усилия, причем так, что в первоначально перегруженных элементах усилия не изменяются, а в недогруженных они возрастают. Предельное состояние всей конструкции достигается при исчерпании несущей способности стольких ее элементов, которое достаточно для обеспечения геометрической изменяемости всей конструкции или ее части.

Итак, потеря несущей способности связывается с потерей геометрической неизменяемости, которую можно отождествлять с обращением конструкции (или части ее) в механизм.

Подобный взгляд на несущую способность привел к гипотезе пластических шарниров и к поискам механизма разрушения, соответствующего фиксированной нагрузке. Решения задачи тут, по сути, производится методом перебора возможных механизмов.

Приведенное выше определение несущей способности связывается с геометрическим критерием.

Между тем, возможно, такое определение, которое основано на аналитическом критерии. Действительно, нас интересует лишь максимум нагрузки, который может выдержать конструкция.

Определим несущую способность как максимальный множитель пропорциональности ν для данной нагрузки, при котором удовлетворяются условия равновесия. Каждая конструкция имеет одно или несколько «характерных» перемещений Δ (перемещения, которые быстро возрастают при ее разрушении).

Если изобразить график ν - Δ , то он имеет вид, показанный на рис. 1, где нисходящая ветвь кривой отвечает процессам разрушения элементов системы.

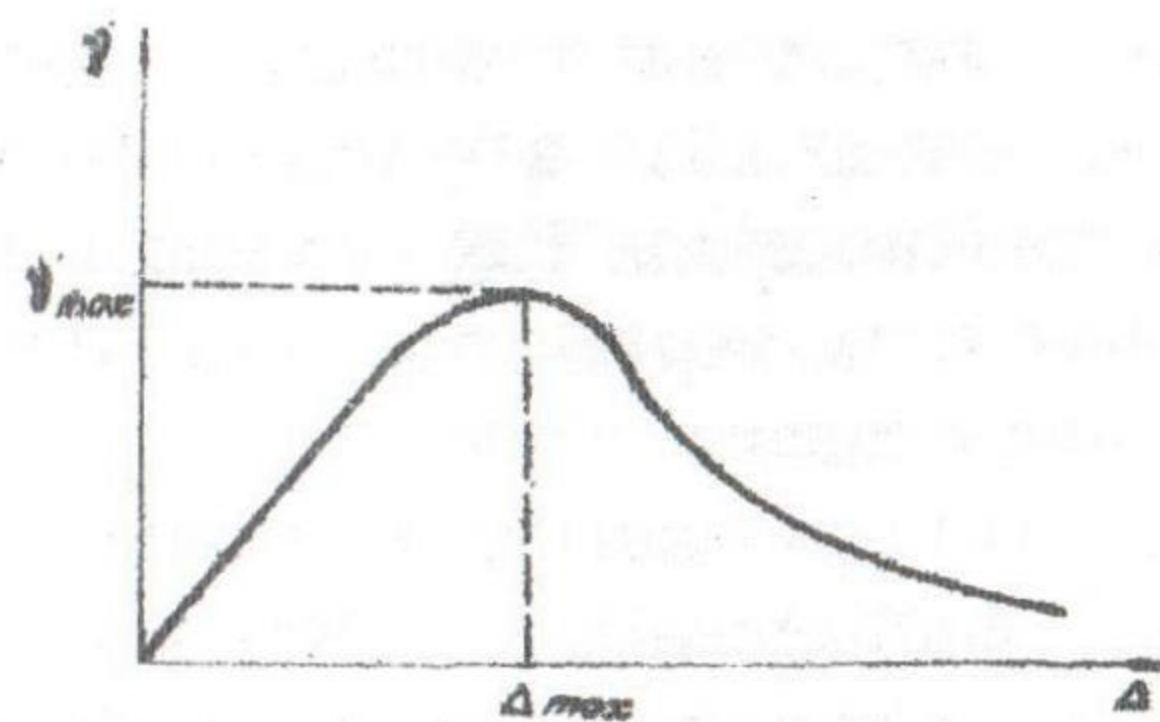


Рис. 1. График зависимости v - Δ

Величина v_{\max} находится из условия $\frac{dv}{d\Delta} = 0$. Если же кривая v - Δ не имеет в точке $(v_{\max}, \Delta_{\max})$ производной, то v_{\max} определяется той точкой Δ_{\max} , в которой производной не существует и в которой $v = v_{\max}$.

Предполагаемое определение позволяет при нахождении несущей способности обойтись без понятия «пластического» шарнира, учесть влияние сложного напряженного состояния на несущую способность и логически связать воедино все стадии работы сооружения.

Второе предельное состояние – по деформациям от статических или динамических нагрузок. Исходят из того, что сохранение прочности и устойчивости еще не означает пригодности к эксплуатации, ибо сооружение может приобрести столь значительные деформации или колебания, при которых будет непригодно к выполнению своего назначения. Эксплуатационные регламентации должны быть обязательно обоснованы расчетами; во всех случаях необходимо принятие конструктивных мероприятий, смягчающих жесткость требований эксплуатации. Это позволит достичь значительной экономии.

Третье предельное состояние – то образованию и раскрытию трещин. При достижении его долговечная эксплуатация невозможна из-за потери водонепроницаемости, приводящей к ускорению коррозионных процессов.

Ни один из видов предельного состояния не может быть допущен во время эксплуатации сооружения. Рабочая нагрузка на конструкцию должна быть ограничена величиной, составляющей долю по отношению к предельной.

Работами ряда исследователей показано, что при соответствующих конструктивных мероприятиях перераспределение усилий в первом предельном состоянии может быть полностью реализовано. Действительно, исследования Нила, Ходжа и других показывают, что v

уменьшается при одновременном воздействии горизонтальных и вертикальных нагрузок, т.е. расчетное сочетание нагрузки связано с их одновременным воздействием. Сваи ростверков подвержены воздействиям значительных нормальных сил (как показывает упругий расчет, они достигают нескольких сот тонн).

Предварительное натяжение арматуры еще более увеличивает эту силу. Вместе с изгибающим моментом это приводит к возможности сбора пластических деформаций сжатой зоны с большого участка по длине элемента, т.е. в сваях очень вероятно наступление состояния, эквивалентного пластическому шарниру, что делает осуществимым механизм бокового смещения – наиболее реальный для конструкций портовых ростверков.

Если же механизм разрушения не будет механизмом бокового смещения, а комбинированным, то его осуществление облегчается уменьшением площади пролетной арматуры в ригеле и полное перераспределение усилий может быть всегда достигнуто.

По второму предельному состоянию могут быть высказаны следующие соображения.

Большое количество опытов [3] подтверждает тот практически общеизвестный факт, что до появления первых трещин распределение усилий в железобетонных элементах подчиняется расчетам упругих систем (пластичность сжатой зоны еще не проявляется).

Вообще говоря, тут возможны 2 случая:

- 1) $\Delta_{упр} \geq \Delta_{пред}$ и расчет по деформациям следует вести в упругой стадии;
- 2) $\Delta_{упр} < \Delta_{пред}$ и расчет по деформациям должен производиться за пределами упругости.

Здесь $\Delta_{упр}$ – это максимальная деформация, протекающая в упругой стадии.

В первом случае с точки зрения расчета все ясно.

К сожалению, во втором случае картина противоположная. До сих пор не сопоставлены фазы состояния и деформаций железобетона и тела Прандтля. Поэтому для применения решений упругопластической задачи к железобетону необходим эксперимент, ибо только он может ответить на вопрос: может ли расчет железобетонных конструкций по деформациям за пределами упругости свести к расчетам идеального тела?

Третье предельное состояние (по образованию и раскрытию трещин) не является вообще предельным состоянием тела Прандтля,

так как ввиду его равнопрочности на сжатие и растяжение, оно служит естественной границей прочности вообще.

Между тем общеизвестно, что в железобетоне момент трещинообразования существенно ниже момента прочности. Стоит отметить, что трещиностойкость элемента вовсе не означает, что он работает в пределах упругости, ввиду возможности развития пластических деформаций сжатой зоны. Высокая степень статической неопределимости ростверков вызывает значительное перераспределение усилий в предельном состоянии. Оценка работы конструкции при эксплуатации (в упругой стадии или за ее пределами) заключается в сравнении допускаемой нагрузки по первому предельному состоянию с нагрузкой, вызывающей крайнюю текучесть в железобетоне. Если последняя больше первой, то в эксплуатационных условиях конструкция работает в упругой стадии и ее трещиностойкость обеспечена. Если же допускаемая нагрузка по первому предельному состоянию больше нагрузки крайней текучести, то сооружение экономично эксплуатировать за пределами упругости. Необходимость использования предварительно напряженной арматуры тут очевидна.

Недопущение трещин, замена арматуры внешними силами, прилагаемыми к сечению, а также известное положение Мурашева о соответствии момента трещинообразования крайним упругим растягивающим напряжениям $2R_p$ позволяют свести решение задачи трещиностойкости конструкции к упруго-пластической схеме.

Вывод.

Выполнен анализ возможных границ использования тела Прандтля для расчета ростверков по предельным состояниям.

Литература

1. Руководство по проектированию морских причальных сооружений. РД 31.31.27-87. Москва. 1984

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

3. Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях. Издательство литературы по строительству. Москва. 1964.